

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 942 266**

51 Int. Cl.:

G01B 11/245 (2006.01)

G01N 21/892 (2006.01)

G01N 21/88 (2006.01)

G01N 21/952 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.12.2014** **PCT/JP2014/084077**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015** **WO15098929**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.12.2014** **E 14873854 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2023** **EP 3088874**

54 Título: **Método de detección de defectos de superficie y dispositivo de detección de defectos de superficie**

30 Prioridad:

27.12.2013 JP 2013270881

25.04.2014 JP 2014090995

25.04.2014 JP 2014090996

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

31.05.2023

73 Titular/es:

JFE STEEL CORPORATION (100.0%)
2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-0011, JP

72 Inventor/es:

ONO, HIROAKI;
KODAMA, TOSHIFUMI;
KOSHIHARA, TAKAHIRO;
OGAWA, AKIHIRO y
IIZUKA, YUKINORI

74 Agente/Representante:

BERTRÁN VALLS, Silvia

ES 2 942 266 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de detección de defectos de superficie y dispositivo de detección de defectos de superficie

5 **Campo**

La presente invención se refiere a un método de detección de defectos de superficie y a un aparato de detección de defectos de superficie, para detectar ópticamente un defecto de superficie de un material de acero.

10 **Antecedentes**

En los últimos años, en procedimientos de fabricación de productos de acero, en cuanto a la mejora del rendimiento mediante la prevención de incompatibilidad masiva, se ha requerido la detección de defectos de superficie de materiales de acero caliente o frío. Los materiales de acero mencionados en el presente documento se refieren a: productos de acero incluyendo chapas de acero y acero conformado, tal como tuberías de acero sin soldadura, tuberías de acero soldadas, chapas de acero laminado en caliente, chapas de acero laminado en frío y placas gruesas; y productos semiacabados, tales como planchas producidas cuando se fabrican estos productos de acero. Por tanto, se ha propuesto un método, como método de detección de un defecto de superficie de un material de acero, método en el que: se irradia con luz una palanquilla en un procedimiento de fabricación de una tubería de acero sin soldadura; se recibe luz reflejada a partir de la misma; y se determina la presencia o ausencia de un defecto de superficie según la cantidad de luz de la luz reflejada (véase el documento de patente 1). Además, también se ha propuesto un método, en el que: se emiten haces de luz visible de múltiples regiones de longitud de onda, que no tienen influencia mutua con luz emitida radiada a partir de un material de acero caliente y no influyen entre sí, a partir de direcciones diagonales simétricas entre sí alrededor de una línea normal de una superficie del material de acero caliente; se obtiene una imagen mediante haces de luz reflejados combinados e imágenes debidas a los haces de luz reflejados individuales en la dirección normal de la superficie del material de acero caliente; y se detecta un defecto de superficie del material de acero caliente a partir de una combinación de estas imágenes (véase el documento de patente 2).

30 **Lista de referencias**

Documentos de patente

Documento de patente 1: solicitud de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 11-037949

Documento de patente 2: solicitud de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 59-052735

El documento US 6 327 274 B1 describe una disposición y un método para la inspección de calidad de superficie. La disposición comprende fuentes de luz de al menos 2 direcciones de iluminación para iluminar una región sobre la superficie del objeto. Las fuentes de luz pueden tener diferentes espectros de eliminación, es decir diferentes colores. Se calcula un perfil en 3-D de la región de superficie del objeto comparando información de imagen de dos direcciones de iluminación de campo oscuro entre sí de modo que se sustrae un canal a partir del otro.

Puede implementarse mediante modulación de color y aplicación de pulsos en la que la superficie del objeto se ilumina en diferentes momentos a partir de diferentes direcciones de eliminación. Las fuentes de luz pulsada del mismo color, por ejemplo rojo, iluminan a partir de direcciones de iluminación específicas y las fuentes de luz pulsada que son mutuamente del mismo color, por ejemplo verde, iluminan a partir de otras direcciones de iluminación.

La comparación general tiene como objetivo revelar características de las regiones de superficie del objeto tales como un perfil en 3-D, por ejemplo pendientes, brillo y reflectancia. Se proporciona un clasificador para clasificar los fallos físicos de la región de superficie, tal como área, anchura, longitud, contraste del defecto.

El documento EP 0 898 163 A1 describe un método y un aparato para la inspección automática de superficies en movimiento. Se obtienen una primera, segunda y tercera señales en diferentes condiciones de observación y se deriva información sobre las propiedades físicas de la superficie a partir de la primera, segunda y tercera señales. En particular, pueden considerarse el brillo, la pendiente, la reflectancia y el color.

El documento del Dr. R. Ferrari, Danieli Automation, "Enhanced surface inspection of long and flat products with pseudo-3D and laser sectioning techniques", International Surface Inspection Summit, Merrillville (Chicago) EE.UU., (22/10/2013), páginas 1 – 68, se refiere a una inspección de superficie potenciada de productos largos y planos con técnicas de pseudo-3-D y seccionamiento láser.

El documento US 2001/030744 A1 describe un método usado para aplicaciones de obtención de imágenes de modo que pueden aplicarse simultáneamente múltiples esquemas de iluminación y adquirir simultáneamente las imágenes, cada una asociada con uno de los múltiples esquemas de iluminación. La radiación puede estar en

cualquier longitud de onda, oscilando entre ondas sónicas, ultrasonidos, ondas de radio, microondas, infrarrojos, infrarrojo cercano, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. La radiación de cada uno de los esquemas de iluminación usados en una aplicación de obtención de imágenes se modula, es decir, se fija, con una firma única. Pueden usarse uno o más dispositivos de obtención de imágenes para recopilar los rayos de radiación simultáneamente después de que los rayos interaccionen con el/los objeto(s). Después se demodula(n) la(s) señal(es) de imagen, se separa(n) para dar varias imágenes, se asocia cada una con un esquema de iluminación, basándose en las firmas.

El documento JP 2010 223 621 A1 describe un método de inspección de superficie interna que incluye una cámara que tiene un eje central óptico inclinado con respecto al eje central del artículo tubular y obtiene imágenes de una región predeterminada de la superficie interna del artículo tubular a partir del extremo abierto del artículo tubular, y un par de fuentes de luz que están dispuestas simétricamente a ambos lados de un plano que incluye el eje central óptico de la cámara y el eje central del artículo tubular e iluminan la región predeterminada a partir del extremo abierto. Se obtienen imágenes de la misma región predeterminada mediante la cámara mientras se conmutan secuencialmente las iluminaciones a partir de las fuentes de luz y se calcula la diferencia de formación de sombras entre los mismos píxeles de cada imagen, y se reconocen sombras que aparecen debido a los defectos no uniformes y se detectan los defectos no uniformes basándose en la información sobre la diferencia de formación de sombras.

Sumario

Problema técnico

Según el método descrito en el documento de patente 1, dado que la reflectancia de una cascarilla o patrón no perjudicial es diferente de la reflectancia de una porción de acero de base, la cascarilla o patrón no perjudicial en buen estado puede detectarse erróneamente como un defecto de superficie. Por tanto, en el método descrito en el documento de patente 1, usando el hecho de que la forma del defecto es lineal, el defecto y la cascarilla se distinguen uno de otro. Sin embargo, los defectos de superficie en un material de acero no sólo tienen formas lineales, sino también diversas formas, tales como formas circulares. Por tanto, el método descrito en el documento de patente 1 es difícil de aplicar al procesamiento de detección para un defecto de superficie de un material de acero. En el método descrito en el documento de patente 2, dado que hay una amplia variedad de defectos, cascarilla, patrones no perjudiciales y similares, es difícil de distinguir cascarilla o un patrón no perjudicial a partir de un defecto de superficie tan sólo mediante simple combinación de imágenes. Además, en sentido realista, es difícil de construir la lógica de detección correspondiente al amplio número de combinaciones de imágenes.

La presente invención se ha realizado en vista de los problemas anteriormente descritos, y un objetivo de la misma es proporcionar un método de detección de defectos de superficie y un aparato de detección de defectos de superficie, que permitan distinguir con precisión cascarilla o un patrón no perjudicial a partir de un defecto de superficie.

Solución al problema

El objetivo anterior se resuelve mediante el objeto de la reivindicación independiente 1, mediante lo cual realizaciones ventajosas se describen en las reivindicaciones dependientes.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, la etapa de irradiación incluye una etapa de realizar la irradiación con los haces de luz de iluminación haciendo que dos o más fuentes de luz de destellos emitan repetidamente luz de tal manera que los momentos de emisión de luz de las mismas no se superponen entre sí.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, la etapa de irradiación incluye una etapa de emitir simultáneamente haces de luz de iluminación de dos o más fuentes de luz que tienen regiones de longitud de onda que no se superponen entre sí, y la etapa de detección incluye una etapa de obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos separando, mediante el uso de filtros que transmiten haces de luz que tienen longitudes de onda que son las mismas que las longitudes de onda de los haces de luz de iluminación, los haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos que se han mezclado entre sí.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, la etapa de irradiación incluye una etapa de realizar simultáneamente la irradiación con haces de luz de iluminación de dos fuentes de luz que tienen características de polarización lineal que son ortogonales entre sí; y la etapa de detección incluye una etapa de obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos separando, mediante el uso de dos placas de polarización que tienen características de polarización lineal ortogonales entre sí, los haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos que se han mezclado entre sí.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, un ángulo de incidencia de los

haces de luz de iluminación de las fuentes de luz respectivas con respecto a la parte objetivo de exploración está en un intervalo de no menos de 25° y no más de 55°.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, la etapa de detección incluye una etapa de ajustar, usando cualquiera de un semiespejo, un divisor de haz y un prisma, ejes ópticos de múltiples dispositivos de obtención de imágenes, que obtienen imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos, para que sean coaxiales entre sí.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, la etapa de detección incluye una primera etapa de determinación de extraer una porción brillante y una porción oscura de una imagen obtenida mediante la ejecución de procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas, y determinar la presencia o ausencia de un defecto de superficie cóncavo-convexo a partir de una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura extraídas y direcciones de irradiación de los haces de luz de iluminación.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, la primera etapa de determinación incluye una etapa de ejecutar un procesamiento de expansión con respecto a imágenes de la porción brillante y la porción oscura, y calcular una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura mediante extracción de una porción de superposición entre las imágenes de la porción brillante y la porción oscura que se han sometido al procesamiento de expansión.

En el método de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada, la primera etapa de determinación incluye una etapa de ejecutar un procesamiento de binarización y procesamiento de etiquetado con respecto a imágenes de la porción brillante y la porción oscura, y calcular una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura comparando posiciones de los centros de gravedad de las imágenes que se han sometido al procesamiento de etiquetado.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, la primera etapa de determinación incluye una etapa de calcular una relación de posición entre una porción brillante y una porción oscura enfatizando la porción brillante y la porción oscura mediante procesamiento de filtrado de imágenes de la porción brillante y la porción oscura.

En el método de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada, la primera etapa de determinación incluye una etapa de: calcular, como cantidad de característica, al menos una de una razón de luminancia, una razón de área y una circularidad de la porción brillante y la porción oscura, a partir de una combinación de la porción brillante y la porción oscura obtenidas mediante el cálculo de la relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura; y determinar, basándose en la cantidad de característica calculada, la presencia o ausencia de un defecto de superficie cóncavo-convexo.

En el método de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada, la etapa de detección incluye una segunda etapa de determinación de obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos, extraer una porción brillante y una porción oscura de una imagen obtenida ejecutando un procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas, calcular una cantidad de característica de forma que pasa a ser un índice de elongación de la porción brillante y la porción oscura extraídas, y determinar, basándose en la cantidad de característica calculada, la presencia o ausencia de un defecto alargado.

En el método de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada, la segunda etapa de determinación incluye una etapa de calcular, como cantidad de característica de forma, al menos uno de: una razón de eje mayor-eje menor según aproximación elíptica; un diámetro de Feret máximo; una circularidad; y una tasa de llenado de polígonos convexos.

En el método de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada, la segunda etapa de determinación incluye una etapa de determinar la presencia o ausencia de un defecto alargado, basándose, además de en la cantidad de característica de forma, en una dirección de la porción brillante y la porción oscura.

En el método de detección de defectos de superficie según la presente invención, un ejemplo fuera de la invención reivindicada, la segunda etapa de determinación incluye una etapa de determinar una dirección de la porción brillante y la porción oscura usando cualquiera de: una razón de eje mayor-eje menor según aproximación elíptica; un diámetro de Feret máximo; y un filtro lineal.

Un aparato de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada detecta ópticamente un defecto de superficie de un material de acero, e incluye: una unidad de irradiación configurada para irradiar una parte objetivo de exploración con haces de luz de iluminación a partir de diferentes direcciones usando dos o más fuentes de luz distinguibles; y una unidad de detección configurada para obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos y para detectar un defecto de superficie en la parte objetivo de exploración ejecutando un procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas.

Un aparato de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada detecta ópticamente un defecto de superficie de un material de acero, e incluye: una unidad de irradiación configurada para irradiar una parte objetivo de exploración con haces de luz de iluminación a partir de diferentes direcciones usando dos o más fuentes de luz distinguibles; y una unidad de determinación configurada para obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos, para extraer una porción brillante y una porción oscura de una imagen obtenida ejecutando un procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas, y para determinar la presencia o ausencia de un defecto de superficie cóncavo-convexo a partir de una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura extraídas y direcciones de irradiación de los haces de luz de iluminación.

Un aparato de detección de defectos de superficie según un ejemplo fuera de la invención reivindicada detecta ópticamente un defecto de superficie de un material de acero, e incluye: una unidad de irradiación configurada para irradiar una parte objetivo de exploración con haces de luz de iluminación a partir de diferentes direcciones usando dos o más fuentes de luz distinguibles; y una unidad de determinación configurada para obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos, para extraer una porción brillante y una porción oscura de una imagen obtenida ejecutando un procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas, para obtener una cantidad de característica de forma que pasa a ser un índice de elongación de la porción brillante y la porción oscura extraídas, y para determinar, basándose en la cantidad de característica calculada, la presencia o ausencia de un defecto alargado.

Efectos ventajosos de la invención

Mediante un método de detección de defectos de superficie y un aparato de detección de defectos de superficie según la presente invención, puede distinguirse con precisión cascarilla o un patrón no perjudicial a partir de un defecto de superficie.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de un aparato de detección de defectos de superficie que puede usarse para llevar a cabo el método según la invención.

La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de un ejemplo modificado de sensores de zona ilustrados en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de tiempo que ilustra el momento de accionamiento de fuentes de luz y los sensores de zona ilustrados en la figura 1.

La figura 4 es un diagrama que ilustra un ejemplo de: dos imágenes bidimensionales que captan un defecto de superficie, y cascarilla y un patrón no perjudicial; y una imagen de sustracción de las mismas.

La figura 5 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de un aparato usado en un experimento para investigar una relación entre el ángulo de incidencia de luz de iluminación y la reflectancia de una porción en buen estado (porción de acero de base).

La figura 6 es un diagrama que ilustra una relación entre ángulo de incidencia de láser y cantidad de luz recibida por un medidor de potencia.

La figura 7 es un diagrama esquemático para la explicación de procesamiento de detección de defectos de superficie según un segundo modo de la presente invención.

La figura 8 es un diagrama esquemático para la explicación de procesamiento de detección de defectos de superficie según un tercer modo de la presente invención.

La figura 9 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de un aparato usado en un ejemplo.

La figura 10 es un diagrama que ilustra resultados de procesamiento de detección de defectos de superficie del ejemplo.

La figura 11 es un diagrama que ilustra resultados de procesamiento de detección de defectos de superficie para una porción en la que se ha generado cascarilla.

La figura 12 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de un ejemplo modificado del aparato de detección de defectos de superficie.

La figura 13 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de otro ejemplo modificado del aparato de

detección de defectos de superficie.

La figura 14 es un diagrama que ilustra sombreado y sombra cuando se emite luz desde una dirección, en casos en los que formas de superficie de partes que van a examinarse son cóncavas y convexas.

La figura 15 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen de sustracción de un defecto de superficie de forma cóncava.

La figura 16 es un diagrama de flujo que ilustra un flujo del método según la presente invención de calcular una relación de posición entre una porción brillante y una porción oscura mediante el uso de procesamiento de expansión.

La figura 17 es un diagrama que ilustra la imagen de sustracción y un perfil de una dimensión de un patrón de brillo.

La figura 18 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen bidimensional y un perfil de una dimensión, de un filtro.

La figura 19 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una imagen de sustracción, que se ha sometido a filtrado usando el filtro ilustrado en la figura 18 y un perfil de una dimensión del mismo.

La figura 20 es un diagrama esquemático que ilustra un ejemplo modificado de posiciones de disposición de fuentes de luz.

La figura 21 es un diagrama esquemático que ilustra patrones de brillo obtenidos mediante las posiciones de disposición de las fuentes de luz ilustradas en la figura 20.

La figura 22 es un diagrama que ilustra resultados de procesamiento de detección de defectos de superficie de un ejemplo.

La figura 23 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un defecto alargado lineal en el que no se forma un patrón de brillo de luz reflejada.

La figura 24 es un diagrama de flujo que ilustra un flujo de procesamiento de detección para un defecto alargado según un ejemplo fuera de la invención reivindicada.

La figura 25 es un diagrama para la explicación de un ejemplo de cantidades de característica de forma de defectos de superficie.

La figura 26 es un diagrama que ilustra resultados de procesamiento de detección de defectos de superficie de un ejemplo.

Descripción de realizaciones

A continuación en el presente documento, haciendo referencia a los dibujos, se describirán configuraciones y el funcionamiento de aparatos de detección de defectos de superficie para llevar a cabo el método según la presente invención.

(Primera realización de un aparato que puede usarse para llevar a cabo el método según la presente invención)

Haciendo referencia a de la figura 1 a la figura 13, se describirá una configuración y el funcionamiento de un aparato de detección de defectos de superficie que puede usarse para llevar a cabo el método según la presente invención.

[Configuración del aparato de detección de defectos de superficie]

La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra la configuración del aparato de detección de defectos de superficie que puede usarse para llevar a cabo el método según la presente invención. Tal como se ilustra en la figura 1, un aparato 1 de detección de defectos de superficie es un aparato que detecta un defecto de superficie de una tubería de acero P, que se transporta en una dirección de una flecha ilustrada en la figura, y que es de forma cilíndrica, y el aparato 1 de detección de defectos de superficie incluye, como componentes principales del mismo, fuentes 2a y 2b de luz, un generador 3 de funciones, sensores 4a y 4b de zona, un dispositivo 5 de procesamiento de imágenes y un monitor 6.

Las fuentes 2a y 2b de luz irradian la misma parte objetivo de exploración sobre una superficie de la tubería de acero P con haces de luz de iluminación distinguibles L, según señales de activación procedentes del generador 3 de funciones. Las fuentes 2a y 2b de luz están dispuestas de manera deseable simétricamente alrededor de la parte objetivo de exploración. Por tanto, las fuentes 2a y 2b de luz están dispuestas de tal manera que las fuentes 2a y 2b

de luz están desplazadas con respecto a un vector normal de la superficie de la tubería de acero P mediante el mismo ángulo, y que los vectores de dirección de irradiación de los haces de luz de iluminación L y el vector normal de la superficie de la tubería de acero P están en el mismo plano. La semejanza de sus ángulos de incidencia mencionada en el presente documento tiene como objetivo hacer que las condiciones ópticas sean lo más iguales posible entre sí cuando se distinguen las fuentes de luz dirigidas de manera diferente una de otra, y reducir en gran medida una señal de una porción en buen estado que incluye cascarilla y un patrón no perjudicial mediante procesamiento de sustracción. Además, una señal de una porción en buen estado depende en gran medida de características de una superficie de un objetivo, y es difícil garantizar la semejanza de manera incondicional en un determinado ángulo. Por tanto, cuando los ángulos están en un intervalo de 25° a 55°, aunque los ángulos sean un poco diferentes uno de otro, siempre que pueda reducirse una señal de una parte en buen estado mediante procesamiento de sustracción, los ángulos se expresarán como que son iguales. En esta realización, el número de fuentes de luz es de dos, pero siempre que puedan distinguirse las fuentes de luz unas de otras, el número de fuentes de luz puede ser de tres o más. Las fuentes de luz distinguibles mencionadas en el presente documento se refieren a fuentes de luz para las que puede encontrarse una cantidad de luz reflejada por separado para cada una de las fuentes de luz con respecto a haces de luz reflejados obtenidos a partir de un objetivo.

Los sensores 4a y 4b de zona captan imágenes bidimensionales mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación L emitidos a partir de las fuentes 2a y 2b de luz según señales de activación procedentes del generador 3 de funciones. Los sensores 4a y 4b de zona introducen datos de las imágenes bidimensionales captadas en el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes. Los sensores 4a y 4b de zona están dispuestos de manera deseable en vectores normales de una parte objetivo de exploración en la medida de lo posible en un estado en el que se han garantizado sus campos de visión de obtención de imágenes respectivos.

Con el fin de resolver el problema de posicionamiento, se hace que los sensores 4a y 4b de zona estén lo más cerca posible uno de otro, y se hace que sus ejes ópticos estén lo más paralelos posible uno con respecto a otro. Además, tal como se ilustra en la figura 2, los ejes ópticos de los sensores 4a y 4b de zona pueden ajustarse para que sean coaxiales mediante el uso de cualquiera de un semiespejo 10, un divisor de haz y un prisma. De ese modo, puede obtenerse con precisión una imagen de sustracción descrita a continuación.

El dispositivo 5 de procesamiento de imágenes es un dispositivo que detecta un defecto de superficie en una parte objetivo de exploración, ejecutando un procesamiento de sustracción descrito a continuación entre dos imágenes bidimensionales introducidas a partir de los sensores 4a y 4b de zona. El dispositivo 5 de procesamiento de imágenes emite las dos imágenes dimensionales introducidas a partir de los sensores 4a y 4b de zona e información relacionada con un resultado de la detección de defectos de superficie al monitor 6.

Ejecutando el procesamiento de detección de defectos de superficie descrito a continuación, el aparato 1 de detección de defectos de superficie configurado tal como se describió anteriormente distingue cascarilla o un patrón no perjudicial a partir de un defecto de superficie en una parte objetivo de exploración. Un defecto de superficie mencionado en el presente documento se refiere a un defecto cóncavo-convexo. Además, cascarilla o un patrón no perjudicial significa una porción que tiene una película de superficie o características de superficie con propiedades ópticas diferentes de las de una porción de acero de base con un grosor de aproximadamente varios μm a varias decenas de μm , y es una porción que se convierte en una causa de ruido en el procesamiento de detección de defectos de superficie. A continuación en el presente documento, se describirá el procesamiento de detección de defectos de superficie según del primer al tercer modos de la presente invención.

[Primer modo]

En primer lugar, haciendo referencia a de la figura 3 a la figura 6, se describirá el procesamiento de detección de defectos de superficie según un primer modo de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama de tiempo que ilustra el momento de accionamiento de las fuentes 2a y 2b de luz y los sensores 4a y 4b de zona. En la figura, "d" representa una duración de emisión de luz de las fuentes 2a y 2b de luz, y "T" representa un periodo de obtención de imágenes para imágenes bidimensionales mediante los sensores 4a y 4b de zona. En el procesamiento de detección de defectos de superficie según el primer modo de la presente invención, las fuentes 2a y 2b de luz se distinguen una de otra, sirviendo las fuentes 2a y 2b de luz como fuentes de luz de destellos y haciéndose que estas fuentes de luz de destellos emitan de manera repetida luz de tal manera que sus momentos de emisión de luz no se superponen entre sí.

Es decir, tal como se ilustra en la figura 3, en este modo, en primer lugar, el generador 3 de funciones transmite una señal de activación a la fuente 2a de luz y al sensor 4a de zona, la fuente 2a de luz emite el haz de luz de iluminación L, y el sensor 4a de zona completa la captación de una imagen bidimensional dentro de la duración d. Después de completarse la captación de la imagen bidimensional mediante el sensor 4a de zona, el generador 3 de funciones transmite una señal de activación a la fuente 2b de luz y al sensor 4b de zona, y se capta una imagen bidimensional de manera similar. Según este modo, las imágenes bidimensionales mediante los haces de luz reflejados individuales para los haces de luz de iluminación L emitidos a partir de las fuentes de luz respectivas pueden captarse con la diferencia de tiempo d y sin reducción de la cantidad de luz.

Si velocidad de transporte de la tubería de acero P es rápida, la duración de emisión de luz d de las fuentes de luz de destellos es deseablemente corta. Esto es porque, cuanto más corta es la duración de emisión de luz d; menor se vuelve el retardo de obturador entre las dos imágenes bidimensionales obtenidas mediante los sensores 4a y 4b de zona, y, por tanto, menor puede hacerse que sea el desplazamiento de posición entre las imágenes bidimensionales debido al retardo de obturador. Además, cuando el objetivo es la detección de un defecto de superficie mediante el uso de una imagen de sustracción entre las imágenes bidimensionales mediante los haces de luz reflejados individuales, se necesita que la duración de emisión de luz d de las fuentes de luz de destellos satisfaga una condición expresada mediante la siguiente expresión numérica (1).

Duración de emisión de luz d [s] ≤

resolución mínima [mm/píxel]x (1)

desplazamiento de posición permisible [píxeles] / velocidad de transporte de línea [mm/s]

Si un tamaño de un defecto de superficie que se pretende detectar es, por ejemplo, de 20 mm, dado que, empíricamente, se necesitan señales de al menos 5x5 píxeles con el fin de detectar el defecto de superficie, la resolución puede ser de 4 mm/píxel. Además, en este caso, se necesita empíricamente que el desplazamiento de posición permisible debido a los momentos de irradiación de los haces de luz de iluminación L no sea de más de 0,2 píxeles y, por tanto, si la velocidad de transporte de la tubería de acero P es de 1, 3 ó 5 m/s, se necesita que la duración de emisión de luz de las fuentes 2a y 2b de luz no sea de más de 800, 270 ó 160 ps, respectivamente. Si la velocidad de transporte y la dirección de transporte de la tubería de acero P es constante, este desplazamiento de posición puede corregirse después de captar las imágenes bidimensionales.

En este modo, después de ejecutar el procesamiento de imágenes, tal como calibración, corrección de sombreado, eliminación de ruido y similares, mediante el uso de parámetros de cámara derivados por adelantado para imágenes bidimensionales introducidas a partir de los sensores 4a y 4b de zona, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes detecta un defecto de superficie en una parte objetivo de exploración, ejecutando un procesamiento de sustracción entre las imágenes bidimensionales.

Específicamente, si un valor de luminancia de cada píxel que constituye una imagen bidimensional la obtenida cuando se emite el haz de luz de iluminación L a partir de la fuente 2a de luz es la(x, y) (donde el número de píxeles es X × Y, la coordenada x es 1 ≤ x ≤ X, y la coordenada y es 1 ≤ y ≤ Y) y un valor de luminancia de cada píxel que constituye una imagen bidimensional lb obtenida cuando se emite el haz de luz de iluminación L a partir de la fuente 2b de luz es lb(x, y), un valor de luminancia I_{dif}(x, y) de cada píxel de su imagen de sustracción I_{dif} se expresa mediante la siguiente ecuación numérica (2).

$$I_{dif}(x, y) = Ia(x, y) - Ib(x, y) \quad (2)$$

Ejemplos de las imágenes bidimensionales la y lb que captan un defecto de superficie, y cascarilla y un patrón no perjudicial, que no son defectos, y su imagen de sustracción I_{dif} se ilustran en las figuras 4(a), (b) y (c), respectivamente. Tal como se ilustra en las figuras 4(a), (b) y (c), en una porción en buen estado, dado que un ángulo formado entre el vector normal y la fuente 2a de luz es igual a un ángulo formado entre el vector normal y la fuente 2b de luz a pesar de la cascarilla y el patrón no perjudicial, el valor de luminancia la(x, y) = el valor de luminancia lb(x, y), es decir, el valor de luminancia I_{dif}(x, y) = 0. Sin embargo, en una porción de defecto de superficie, dado que la superficie tiene una forma cóncava-convexa, siempre está presente un sitio en el que el ángulo formado entre el vector normal y la fuente 2a de luz no es igual al ángulo formado entre el vector normal y la fuente 2b de luz, y, por tanto, el valor de luminancia la(x, y) ≠ el valor de luminancia lb(x, y), es decir, el valor de luminancia I_{dif}(x, y) ≠ 0.

Por tanto, mediante un dispositivo 11 de sustracción que genera una imagen de sustracción entre dos imágenes bidimensionales, se eliminan cascarilla y un patrón no perjudicial, que no son defectos, y sólo puede detectarse un defecto de superficie. Sólo se detecta un defecto de superficie tal como se describió anteriormente, la evaluación final de si el defecto de superficie es perjudicial o no se realiza mediante diversas cantidades de característica, y un resultado de la evaluación se visualiza en el monitor 6.

Si hay un desplazamiento de posición entre las dos imágenes bidimensionales y esto influye en la imagen de sustracción, se usa de manera deseable un filtro de paso bajo bidimensional para reducir la influencia del desplazamiento de posición entre las imágenes bidimensionales. En este caso, si el filtro de paso bajo bidimensional es "H", un valor de luminancia I'_{dif}(x, y) de la imagen de sustracción se expresa mediante la siguiente ecuación numérica (3).

$$I'_{dif}(x, y) = H * (Ia(x, y) - Ib(x, y)) \quad (3)$$

Además, preferiblemente, como fuentes 2a y 2b de luz, se usan fuentes de luz que son iguales, cada una de las fuentes de luz emite luz de modo que la luz se convierte en luz paralela uniforme en la medida de lo posible, y la parte objetivo de exploración es aproximadamente plana. Sin embargo, en la aplicación a un caso en el que la superficie es de una pequeña superficie no uniforme a una superficie curva lisa como la tubería de acero P, un defecto de superficie puede detectarse mediante corrección de sombreado general.

Además, el ángulo de incidencia de los haces de luz de iluminación L está de manera deseable en un intervalo que impide que una componente de reflejo en espejo entre en luz reflejada procedente de una porción en buen estado y que permite garantizar una cantidad de luz suficiente. Los inventores de la presente invención llevaron a cabo un experimento para investigar una relación entre el ángulo de incidencia de los haces de luz de iluminación L y la reflectancia de una porción en buen estado (porción de acero de base). En la figura 5 se ilustra una configuración de un aparato usado en el experimento. Tal como se ilustra en la figura 5, en este experimento, se midió la cantidad de luz recibida por un medidor 12 de potencia cuando se fijó el medidor 12 de potencia a una posición justo por encima de una muestra 14 de plancha y el ángulo de incidencia θ de un láser 13 se cambió desde 0° hasta 90° . Los resultados del experimento se ilustran en la figura 6. Tal como se ilustra en la figura 6, cuando el ángulo de incidencia θ está en un intervalo de 0° a 20° , la cantidad de luz recibida por el medidor 12 de potencia es grande debido a la inclusión de una componente de reflejo en espejo, pero cuando el ángulo de incidencia θ se vuelve no menor de 60° , la cantidad de luz recibida por el medidor 12 de potencia se reduce en gran medida. Por tanto, el ángulo de incidencia de los haces de luz de iluminación L está de manera deseable en un intervalo de 25° a 55° con respecto a un vector normal de una parte objetivo de exploración.

La resolución en la dirección de profundidad de una parte objetivo de exploración depende de un ángulo de inclinación de un defecto y las resoluciones de los sensores 4a y 4b de zona. El ángulo de inclinación de un defecto es un ángulo obtenido proyectando de manera ortográfica "un vector normal de una porción de defecto" en "un plano formado por un vector de dirección de fuente de luz y un vector normal de una superficie de una porción en buen estado de una parte objetivo de exploración", el ángulo formado entre el vector proyectado de manera ortográfica y el vector normal de la superficie de la porción en buen estado. Aunque depende de las características de la superficie de la parte objetivo de exploración, cuando se realiza irradiación con luz incidente a un ángulo de incidencia, por ejemplo, de 45° , si el ángulo de inclinación del defecto no es menor de aproximadamente 10° con respecto a la dirección de fuente de luz, se ha confirmado que puede detectarse una señal de defecto mediante procesamiento de sustracción. Por tanto, si se supone que una resolución de un píxel es de 0,5 mm, en teoría, se obtiene una resolución en la dirección de profundidad de aproximadamente $0,5 \times \tan 10^\circ = 0,09$ mm.

[Segundo modo]

A continuación, haciendo referencia a la figura 7, se describirá el procesamiento de detección de defectos de superficie según el segundo modo de la presente invención.

En el procesamiento de detección de defectos de superficie según un segundo modo de la presente invención, usando fuentes de luz que tienen regiones de longitud de onda que no se superponen entre sí como las fuentes 2a y 2b de luz, las fuentes 2a y 2b de luz se distinguen una de otra. Específicamente, tal como se ilustra en la figura 7, dos tipos de filtros 20a y 20b de selección de longitud de onda que tienen regiones de longitud de onda que no se superponen entre sí están dispuestos en las fuentes 2a y 2b de luz, y se seleccionan regiones de longitud de onda de los haces de luz de iluminación L. Además, filtros 21a y 21b de selección de longitud de onda que tienen las mismas características de selección de longitud de onda están dispuestos en los sensores 4a y 4b de zona.

Según esta configuración, el haz de luz reflejado del haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2a de luz se recibe únicamente por el sensor 4a de zona a través de los filtros 20a y 21a de selección de longitud de onda, y el haz de luz reflejado del haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2b de luz se recibe únicamente por el sensor 4b de zona a través de los filtros 20b y 21b de selección de longitud de onda. Por tanto, haciendo coincidir los momentos de obtención de imágenes de los sensores 4a y 4b de zona entre sí, pueden captarse imágenes bidimensionales mediante los haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación L procedentes de las fuentes 2a y 2b de luz sin ningún desplazamiento de posición. El procesamiento después de la captación de las imágenes bidimensionales es similar al del primer modo.

Cuando la velocidad de movimiento de una parte objetivo de exploración es grande, con el fin de evitar el desplazamiento de posición debido al movimiento de la parte objetivo de exploración, usando fuentes de luz de destellos como fuentes 2a y 2b de luz, los tiempos de obtención de imágenes de las imágenes bidimensionales pueden acortarse sin cambiar los momentos de irradiación de las fuentes 2a y 2b de luz. Además, puede adoptarse una configuración en la que, captando imágenes bidimensionales usando un filtro de transmisión azul como filtro 20a de selección de longitud de onda y un filtro de transmisión verde como filtro 20b de selección de longitud de onda y usando una única cámara a color, sólo se recibe el haz de luz reflejado del haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2a de luz en el canal azul y sólo se recibe el haz de luz reflejado del haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2b de luz en el canal verde.

[Tercer modo]

A continuación, haciendo referencia a la figura 8, se describirá el procesamiento de detección de defectos de superficie según un tercer modo de la presente invención.

En el procesamiento de detección de defectos de superficie según el tercer modo de la presente invención, usando fuentes de luz que tienen características de polarización lineal ortogonales entre sí como fuentes 2a y 2b de luz, las fuentes 2a y 2b de luz se distinguen una de otra. Específicamente, tal como se ilustra en la figura 8, placas 30a y 30b de polarización lineal están dispuestas a α° y $(\alpha + 90)^\circ$ (donde α es cualquier ángulo) en las fuentes 2a y 2b de luz, y sólo se transmiten a través las componentes de luz de polarización ortogonales entre sí, respectivamente. Una placa de polarización lineal significa un filtro que sólo transmite una componente de polarización lineal de una determinada dirección, con respecto a luz incidente. Además, placas 31a y 31b de polarización lineal que tienen las mismas características de polarización lineal que las placas 30a y 30b de polarización lineal están dispuestas a α° y $(\alpha + 90)^\circ$ en los sensores 4a y 4b de zona.

Según esta configuración, el haz de luz reflejado del haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2a de luz se recibe únicamente por el sensor 4a de zona, y el haz de luz reflejado del haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2b de luz se recibe únicamente por el sensor 4b de zona. Por tanto, haciendo coincidir los momentos de obtención de imágenes de los sensores 4a y 4b de zona entre sí, pueden captarse imágenes bidimensionales mediante los haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación L procedentes de las fuentes de luz respectivas sin ningún desplazamiento de posición.

Cuando la velocidad de movimiento de una parte objetivo de exploración es grande, usando fuentes de luz de destellos como fuentes 2a y 2b de luz, pueden acortarse los tiempos de obtención de imágenes de las imágenes bidimensionales sin cambiar los momentos de irradiación de las fuentes 2a y 2b de luz. El posicionamiento y procesamiento después de la captación de las imágenes bidimensionales son similares a los del primer y segundo modos.

[Ejemplo]

En este ejemplo, tal como se ilustra en la figura 9, se detectó un defecto de superficie de la tubería de acero P mediante el uso de un método de uso de fuentes de luz de destellos como fuentes 2a y 2b de luz y cambio de momentos de emisión de luz de las fuentes 2a y 2b de luz. Se captaron imágenes bidimensionales disponiendo los sensores 4a y 4b de zona en una línea y se realizó el posicionamiento mediante procesamiento de imágenes. Los resultados de la detección de defectos de superficie se ilustran en la figura 10. La figura 10(a) es una imagen bidimensional tras la irradiación con el haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2a de luz, la figura 10(b) es una imagen bidimensional tras la irradiación con el haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2b de luz, y la figura 10(c) es una imagen de sustracción entre la imagen bidimensional ilustrada en la figura 10(a) y la imagen bidimensional ilustrada en la figura 10(b). Las relaciones S/N de las imágenes ilustradas en las figuras 10(a) a (c) fueron respectivamente de 3,5, 3,5 y 6,0, y la relación S/N de la imagen de sustracción mejoró en comparación con el caso en el que simplemente se emitió el haz de luz de iluminación L a partir de una única dirección.

La figura 11 es un diagrama que ilustra resultados de procesamiento de detección de defectos de superficie con respecto a una porción de la tubería de acero, la porción en la que se ha generado cascarilla. La figura 11(a) es una imagen bidimensional tras la irradiación con el haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2a de luz, la figura 11(b) es una imagen bidimensional tras la irradiación con el haz de luz de iluminación L procedente de la fuente 2b de luz, y la figura 11(c) es una imagen de sustracción entre la imagen bidimensional ilustrada en la figura 11(a) y la imagen bidimensional ilustrada en la figura 11(b). Los puntos negros dispersados a lo largo de las imágenes bidimensionales completas ilustradas en las figuras 11(a) y (b) son la cascarilla, que provoca ruido. Dado que la cascarilla tiene forma plana, mediante obtención de la imagen de sustracción, se eliminó la imagen de la cascarilla. Además, en la imagen de sustracción, en comparación con el caso en el que el haz de luz de iluminación se emitió simplemente a partir de una única dirección, se redujo la señal de la cascarilla, que provoca ruido, hasta aproximadamente 1/4.

[Primer ejemplo modificado]

La figura 12 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de un ejemplo modificado del aparato de detección de defectos de superficie. Tal como se ilustra en la figura 12, en este ejemplo modificado, luz de iluminación emitida a partir de la fuente 2a de luz individual se divide mediante múltiples espejos 40a, 40b, 40c y 40d, y finalmente se irradia una parte objetivo de exploración de una tubería de acero P1 con los haces de luz de iluminación procedentes de dos direcciones. En este caso, mediante disposición de los filtros 20a y 20b de selección de longitud de onda y las placas 30a y 30b de polarización lineal en los trayectos ópticos respectivos de los haces de luz de iluminación, pueden obtenerse efectos similares a los de la segunda realización y el tercer ejemplo fuera de la invención reivindicada. Aunque los haces de luz de iluminación se emiten a partir de dos direcciones en este ejemplo modificado, lo mismo se aplica a un caso en el que se emiten haces de luz de iluminación a partir de no menos de tres direcciones.

[Segundo ejemplo modificado]

La figura 13 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración de otro ejemplo modificado del aparato de detección de defectos de superficie. Tal como se ilustra en la figura 13, en este ejemplo modificado, en vez de limitar la longitud de onda de fuentes de luz mediante el uso de los filtros 20a y 20b de selección de longitud de onda en el aparato de detección de defectos de superficie ilustrado en la figura 7, la longitud de onda de fuentes de luz se limita mediante el uso de láseres 51a y 51b pulsados y placas 50a y 50b de difusión. En este ejemplo modificado, las fuentes de luz se distinguen una de otra mediante irradiación de una parte objetivo de exploración con haces de luz de láser a partir de dos láseres 51a y 51b pulsados que tienen regiones de longitud de onda diferentes una de otra, desde las direcciones izquierda y derecha. Las placas 50a y 50b de difusión se insertan en trayectos ópticos de los haces de luz de láser para la irradiación de toda la zona de la parte objetivo de exploración con los haces de luz de láser emitidos a partir de los láseres 51a y 51b pulsados. Aunque los haces de luz de iluminación se emiten a partir de dos direcciones en este ejemplo modificado, lo mismo se aplica a un caso en el que se emiten haces de luz de iluminación a partir de no menos de tres direcciones.

[Tercer ejemplo modificado]

En este ejemplo modificado, se usa un espejo dicróico en vez de los filtros 21a y 21b de selección de longitud de onda dispuestos en los sensores 4a y 4b de zona en el aparato de detección de defectos de superficie ilustrado en la figura 7. El espejo dicróico es un espejo que refleja luz de una componente de longitud de onda específica y transmite luz de otras componentes de longitud de onda. Mediante el uso del espejo dicróico, los filtros de selección de longitud de onda se vuelven innecesarios. Aunque los haces de luz de iluminación se emiten a partir de dos direcciones en este ejemplo modificado, lo mismo se aplica a un caso en el que se emiten haces de luz de iluminación a partir de no menos de tres direcciones.

(Segunda realización)

A continuación, haciendo referencia a de la figura 14 a la figura 22, se describirá una configuración y el funcionamiento de un aparato de detección de defectos de superficie para llevar a cabo el método según la presente invención. Dado que la configuración del aparato de detección de defectos de superficie según esta realización es la misma que la configuración del aparato de detección de defectos de superficie según la primera realización anteriormente descrita, a continuación en el presente documento se omitirá la descripción de la configuración, y sólo se describirá el funcionamiento del aparato de detección de defectos de superficie.

Ejecutando el procesamiento de detección de defectos de superficie descrito a continuación, el aparato 1 de detección de defectos de superficie para llevar a cabo el método según la segunda realización de la presente invención distingue un defecto de superficie cóncavo-convexo con respecto a cascarilla o un patrón no perjudicial en una parte objetivo de exploración. Cascarilla o un patrón no perjudicial significa una porción que tiene una película de superficie o características de superficie con propiedades ópticas diferentes de las de una porción de acero de base con un grosor de aproximadamente varios μm a varias decenas de μm , y es una porción que se convierte en una causa de ruido en el procesamiento de detección de defectos de superficie.

[Procesamiento de detección de defectos de superficie]

En el procesamiento de detección de defectos de superficie según una de las realizaciones de la presente invención, después de ejecutar el procesamiento de imágenes, tal como calibración, corrección de sombreado, eliminación de ruido y similares, mediante el uso de parámetros de cámara derivados por adelantado para dos imágenes bidimensionales introducidas a partir de los sensores 4a y 4b de zona, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes genera una imagen de sustracción ejecutando un procesamiento de sustracción entre las imágenes bidimensionales, y detecta, a partir de la imagen de sustracción generada, un defecto de superficie cóncavo-convexo en una parte objetivo de exploración.

Específicamente, si un valor de luminancia de cada píxel que constituye una imagen bidimensional la obtenida cuando se emite el haz de luz de iluminación L a partir de la fuente 2a de luz es $la(x, y)$ (donde el número de píxeles es $X \times Y$, la coordenada x es $1 \leq x \leq X$, y la coordenada y es $1 \leq y \leq Y$) y un valor de luminancia de cada píxel que constituye una imagen bidimensional lb obtenida cuando se emite el haz de luz de iluminación L a partir de la fuente 2b de luz es $lb(x, y)$, un valor de luminancia $I_dif(x, y)$ de cada píxel de su imagen de sustracción I_dif obtenida mediante procesamiento de sustracción se expresa mediante la expresión numérica (1) ya mencionada.

Tal como se ilustra en la figura 4, en una porción en buen estado, independientemente de la presencia o ausencia de cascarilla o un patrón no perjudicial, dado que el ángulo formado entre el vector normal de la superficie y la fuente 2a de luz es igual al ángulo formado entre el vector normal de la superficie y la fuente 2b de luz, el valor de luminancia $la(x, y) = lb(x, y)$, es decir, el valor de luminancia $I_dif(x, y) = 0$. Sin embargo, en una porción con defecto de superficie cóncavo-convexo, dado que la superficie tiene una forma cóncava-convexa, siempre está presente un sitio en el que el ángulo formado entre el vector normal de la superficie y la fuente 2a de

luz no es igual al ángulo formado entre el vector normal de la superficie y la fuente 2b de luz, y, por tanto, el valor de luminancia $I_a(x, y) \neq$ el valor de luminancia $I_b(x, y)$, es decir, el valor de luminancia $I_{dif}(x, y) \neq 0$. Por tanto, mediante el dispositivo 11 de sustracción que genera la imagen de sustracción I_{dif} entre las dos imágenes bidimensionales, puede eliminarse una imagen de cascarilla o un patrón no perjudicial, que presenta buen estado y no es un defecto de superficie.

A continuación, se describirá la lógica de detección de un defecto de superficie cóncavo-convexo a partir de la imagen de sustracción I_{dif} . Las figuras 14(a) y (b) son diagramas que ilustran respectivamente sombreado y sombra cuando se irradia una parte objetivo de exploración con el haz de luz de iluminación procedente de una de las fuentes de luz, en un caso en el que la forma de superficie de la parte objetivo de exploración es de forma cóncava y forma convexa. Tal como se ilustra en la figura 14(a), cuando la forma de superficie de la parte objetivo de exploración es de forma cóncava, el lado cerca de la fuente de luz se vuelve oscuro debido a la reducción de la cantidad de luz de irradiación por unidad de área, y el lado alejado de la fuente de luz se vuelve brillante debido a la aproximación a una dirección de reflexión normal. En cambio, tal como se ilustra en la figura 14(b), cuando la forma de superficie de la parte objetivo de exploración es de forma convexa, el lado cerca de la fuente de luz se vuelve brillante debido a la aproximación a una dirección de reflexión normal y el lado alejado de la fuente de luz se vuelve oscuro debido a una sombra de la forma convexa.

Dicho de otro modo, los patrones de brillo de haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación son diferentes entre un caso en el que la forma de superficie de la parte objetivo de exploración es de forma cóncava y un caso en el que la forma de superficie es de forma convexa. Por tanto, mediante reconocimiento del patrón de brillo del haz de luz reflejado, puede detectarse la presencia o ausencia de un defecto de superficie cóncavo-convexo. Por tanto, a continuación en el presente documento, se describirá un método de detección de un defecto de superficie cóncavo-convexo mediante reconocimiento de un patrón de brillo de un haz de luz reflejado. A continuación en el presente documento, se detectará un defecto de superficie de forma cóncava, de defectos de superficie cóncavos-convexos, pero puede detectarse un defecto de superficie de forma convexa según lógica similar. Además, una porción brillante mencionada a continuación significa una mancha, que tiene un área no menor que un valor predeterminado obtenido mediante ejecución de procesamiento de conexión con respecto a píxeles que tienen una luminancia no menor que un umbral predeterminado en la imagen de sustracción I_{dif} . Además, una porción oscura mencionada a continuación se refiere a una mancha, que tiene un área no menor que un valor predeterminado obtenido mediante ejecución de procesamiento de conexión con respecto a píxeles que tienen una luminancia no mayor que un umbral predeterminado en la imagen de sustracción I_{dif} . Una mancha significa una colección de píxeles marcados.

En esta realización, se reconoce un patrón de brillo mediante extracción de una porción brillante y una porción oscura mediante ejecución de procesamiento de umbral. Específicamente, en el aparato 1 de detección de defectos de superficie según esta realización, dado que las fuentes 2a y 2b de luz están dispuestas para ser simétricas de izquierda a derecha entre sí alrededor de un vector normal de una parte objetivo de exploración, un patrón de brillo de luz reflejada resultante de una forma cóncava-convexa de la superficie se genera en una dirección izquierda-derecha. El brillo de izquierda y de derecha se invierte según el orden de procesamiento de sustracción y, por tanto, en el presente documento, cuando la derecha es brillante y la izquierda es oscura, la superficie tiene forma cóncava y, cuando la derecha es oscura y la derecha es brillante, la superficie tiene forma convexa. Por tanto, la imagen de sustracción I_{dif} del defecto de superficie de forma convexa pasa a ser como la ilustrada en la figura 15. Cuando se binarizan imágenes de la porción brillante y la porción oscura respectivamente con umbrales de luminancia The y $-The$, las imágenes binarizadas $I_{brillante}$ e I_{oscura} de la porción brillante y la porción oscura se expresan respectivamente mediante las siguientes expresiones numéricas (4).

$$I_{brillante}(x,y) = 1 \text{ (cuando } I_{dif}(x,y) \geq The)$$

$$I_{brillante}(x,y) = 0 \text{ (cuando } I_{dif}(x,y) < The)$$

$$I_{oscura}(x,y) = 1 \text{ (cuando } I_{dif}(x,y) \leq -The)$$

$$I_{oscura}(x,y) = 0 \text{ (cuando } I_{dif}(x,y) > -The)$$

Después de binarizar las imágenes de la porción brillante y la porción oscura tal como se describió anteriormente y, según sea necesario, ejecutar la conexión y retirada de puntos aislados, calculando una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura, se detecta la presencia o ausencia de un defecto de superficie cóncavo-convexo. Hay diversos métodos de cálculo de la relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura, y, a continuación en el presente documento, se describirán tres métodos de cálculo representativos, pero puede adoptarse cualquier otro método que permita el cálculo de la relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura.

Un primer método de cálculo de relación de posición es un método de cálculo de la relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura mediante ejecución de procesamiento de expansión y contracción en una dirección específica con respecto a la porción brillante y la porción oscura. En la figura 16 se ilustra un diagrama de

flujo de este método de cálculo. En esta realización, dado que se detecta un defecto de superficie de forma cóncava, se describirá un caso en el que se reconoce un patrón de brillo con la derecha brillante y la izquierda oscura. Que la derecha sea brillante y la izquierda sea oscura significa que la porción oscura siempre está en el lado izquierdo de la porción brillante y la porción brillante siempre está en el lado derecho de la porción oscura. En este método de cálculo, en primer lugar, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes ejecuta el procesamiento de expansión en la dirección derecha con respecto a la porción oscura y ejecuta el procesamiento de expansión en la dirección izquierda con respecto a la porción brillante (etapas S1a y S1b). Cuando las imágenes de la porción brillante y la porción oscura que se han sometido al procesamiento de expansión se designan respectivamente $I_{\text{brillante_extend}}$ e $I_{\text{oscura_extend}}$, y la longitud expandida es W , el procesamiento de expansión se expresa mediante las siguientes ecuaciones numéricas (5). Siendo la parte superior izquierda de la imagen bidimensional el origen, el sentido hacia abajo es positivo a lo largo de una dirección de eje de las y y el sentido hacia la derecha es positivo a lo largo de una dirección del eje de las x .

$$\begin{aligned} I_{\text{brillante_extend}}(x1,y) &= 1 \quad x-W \leq x1 \leq x \quad (\text{cuando } I_{\text{brillante}}(x,y) = 1) \\ I_{\text{oscura_extend}}(x1,y) &= 1 \quad x \leq x1 \leq x+W \quad (\text{cuando } I_{\text{oscura}}(x,y) = 1) \end{aligned} \quad (5)$$

En esta realización, aunque la porción brillante y la porción oscura se expanden la misma longitud W , la longitud expandida W no es necesariamente la misma y , en sentido extremo, el procesamiento de expansión puede ejecutarse con respecto a tan sólo una de la porción brillante y la porción oscura. Además, la longitud expandida W también depende del tamaño del defecto de superficie que se desea detectar.

A continuación, ejecutando un procesamiento de Y con respecto a las imágenes $I_{\text{brillante_extend}}$ e $I_{\text{oscura_extend}}$ de la porción brillante y la porción oscura que se han sometido al procesamiento de expansión tal como se expresa mediante la siguiente ecuación numérica (6), el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes extrae una imagen de porción candidata de defecto I_{defecto} , que es una porción de superposición entre las imágenes $I_{\text{brillante_extend}}$ e $I_{\text{oscura_extend}}$ de la porción brillante y la porción oscura que se han sometido al procesamiento de expansión (etapas S2a y S2b).

$$I_{\text{defecto}} = I_{\text{brillante_extend}} \text{ e } I_{\text{oscura_extend}} \quad (6)$$

A continuación, después de ejecutar el procesamiento de conexión y retirada de puntos aislados según sea necesario con respecto a cada imagen de porción candidata de defecto I_{defecto} obtenida, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes genera una mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$ ejecutando procesamiento de marcado (etapa S3). El dispositivo 5 de procesamiento de imágenes extrae una cantidad de característica de cada mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$, y determina, basándose en un resultado de la extracción, si cada mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$ es o no un defecto de superficie de forma cóncava (etapas S4a y S4b). Investigar la cantidad de característica de la mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$ requiere información de la porción brillante y la porción oscura y , por tanto, se recuperan la porción brillante y la porción oscura a partir de la mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$.

Específicamente, dado que una porción brillante siempre está presente en el lado derecho de una porción candidata de defecto y una porción oscura siempre está presente en el lado izquierdo de la misma, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes busca la imagen binarizada de porción oscura I_{oscura} a la izquierda siendo el centro de gravedad de la mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$ un punto de partida, y considera una mancha que se encuentra en primer lugar como mancha candidata de defecto de porción oscura $I_{\text{oscura_mancha}}$. De manera similar, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes busca la imagen binarizada de porción brillante $I_{\text{brillante}}$ a la derecha siendo el centro de gravedad de la mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$ un punto de partida, y considera una mancha encontrada en primer lugar como mancha candidata de defecto de porción brillante $I_{\text{brillante_mancha}}$. El dispositivo 5 de procesamiento de imágenes extrae cantidades de característica a partir de la mancha candidata de defecto de porción brillante $I_{\text{brillante_mancha}}$ y la mancha candidata de defecto de porción oscura que se han recuperado tal como se describió anteriormente, y determina, basándose en las cantidades de característica extraídas, si cada mancha candidata de defecto $I_{\text{defecto_mancha}}$ es o no un defecto de superficie de forma cóncava. Las cantidades de característica específicas difieren según los defectos y , por tanto, sin mencionar las cantidades de característica específicas en el presente documento, en un ejemplo descrito a continuación se describirá un ejemplo de las mismas.

En un segundo método de cálculo de relación de posición en un ejemplo fuera de la invención reivindicada, después de ejecutarse el procesamiento de umbral anteriormente descrito y según sea necesario, se ejecuta un procesamiento de conexión y retirada de puntos aislados; se extraen una porción brillante y una porción oscura, se ejecuta el marcado y se reconoce una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura, para detectar de ese modo un defecto de superficie de forma cóncava. Específicamente, en primer lugar, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes reconoce una porción brillante y una porción oscura de manera individual mediante marcado, y obtiene información de centro de gravedad de la porción brillante y la porción oscura. A continuación, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes determina, a partir de la información de centro de gravedad de la porción brillante y la porción oscura, si el centro de gravedad de la porción oscura está presente o no en un intervalo

predeterminado en un lado derecho de cada porción brillante. Si el centro de gravedad de la porción oscura está presente en el mismo, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes reconoce la combinación de la porción brillante y la porción oscura como que forman un patrón de brillo, y determina si es un defecto de superficie de forma cóncava o no, ejecutando un análisis de cantidad de característica del patrón de brillo. Aunque el patrón de brillo se reconoce mediante el uso de la información de centro de gravedad en el presente documento, la información usada en el reconocimiento del patrón de brillo no es necesariamente la información de centro de gravedad siempre que la información permita obtener posiciones de la porción brillante y la porción oscura (por ejemplo, sus posiciones de extremo superior, posiciones de extremo inferior y similares).

En un tercer método de cálculo de relación de posición según un ejemplo fuera de la invención reivindicada, sin ejecutar el procesamiento de umbral anteriormente descrito, reconociendo un patrón de brillo mediante el uso de un filtro, se detecta un defecto de superficie de forma cóncava. Específicamente, en el aparato 1 de detección de defectos de superficie ilustrado en la figura 1, dado que las fuentes 2a y 2b de luz están dispuestas de manera simétrica de izquierda a derecha alrededor de una línea normal de una parte objetivo de exploración, se genera un patrón de brillo provocado por concavidad y convexidad de una superficie de la misma en la dirección izquierda-derecha. Las figuras 17(a) y (b) son diagramas que ilustran respectivamente un ejemplo de una imagen de sustracción, y un perfil de una dimensión de un patrón de brillo en un segmento de línea L4 ilustrado en la figura 17(a).

Tal como se ilustra en las figuras 17(a) y (b), para un defecto de superficie de forma cóncava, la derecha es brillante y la izquierda es oscura y, por tanto, el perfil de una dimensión del patrón de brillo pasa a ser un perfil de una dimensión característico, en el que el lado derecho tiene forma de montaña y el lado izquierdo tiene forma de valle. Por tanto, en este ejemplo, se genera por adelantado un filtro H teniendo el lado derecho forma de montaña y teniendo el lado izquierdo forma de valle y, sometiendo la imagen de sustracción I_{dif} al filtro H tal como se expresa mediante la siguiente ecuación numérica (7), se genera una imagen bidimensional I_{cont} con ruido de alta frecuencia reducido y con tan sólo el patrón de brillo enfatizado.

$$I_{\text{cont}} = H * I_{\text{dif}} \quad (7)$$

Las figuras 18(a) y (b) son diagramas que ilustran respectivamente una imagen bidimensional del filtro H generado por adelantado y un ejemplo de un perfil de una dimensión del mismo en la dirección izquierda-derecha. Las figuras 19(a) y (b) son diagramas que ilustran respectivamente una imagen de sustracción que se ha sometido a filtrado usando el filtro H ilustrado en las figuras 18(a) y (b), y un perfil de una dimensión del mismo en la dirección izquierda-derecha. Tal como se ilustra en las figuras 19(a) y (b), se obtiene una imagen bidimensional con ruido de alta frecuencia reducido y con tan sólo el patrón de brillo del mismo enfatizado.

Según sea necesario, pueden prepararse por adelantado diversos tipos de filtros que tienen diferentes intervalos en una dirección de anchura para ser compatibles con muchos tamaños de defecto de superficie. Después de ejecutar el procesamiento de conexión y retirada de puntos aislados según sea necesario, con respecto a la imagen bidimensional con su patrón de brillo enfatizado tal como se describió anteriormente, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes extrae la imagen de porción candidata de defecto I_{defecto} ejecutando procesamiento de umbral. El dispositivo 5 de procesamiento de imágenes detecta un defecto de superficie de forma cóncava ejecutando un procesamiento similar al del primer método de cálculo de relación de posición, con respecto a la imagen de porción candidata de defecto extraída I_{defecto} .

Tal como se aclaró a partir de la descripción anterior, en el procesamiento de detección de defectos de superficie según una de las realizaciones de la presente invención, se irradia la misma parte objetivo de exploración con los haces de luz de iluminación L aproximadamente al mismo ángulo de incidencia a partir de diferentes direcciones mediante el uso de las dos fuentes 2a y 2b de luz distinguibles, se obtienen las imágenes mediante los haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos L, se extraen la porción brillante y la porción oscura de la imagen obtenida mediante ejecución de procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas y se determina la presencia o ausencia de un defecto de superficie cóncavo-convexo a partir de la relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura extraídas y las direcciones de irradiación de los haces de luz de iluminación L, y, por tanto, puede distinguirse con precisión un defecto de superficie cóncavo-convexo a partir de cascarilla o un patrón no perjudicial.

En esta realización, aunque se reconoce el patrón de brillo izquierdo y derecho ya que las fuentes de luz están dispuestas con simetría de izquierda-derecha, aunque las posiciones de disposición de las fuentes de luz no sean izquierda y derecha, y no tengan simetría de arriba-abajo o no sean simétricas, puede detectarse un defecto de superficie cóncavo-convexo mediante un procesamiento similar. Específicamente, cuando las fuentes de luz están dispuestas para tener simetría de arriba-abajo entre sí, dado que el patrón de brillo sólo cambia de la dirección izquierda-derecha a la dirección arriba-abajo, si el patrón de brillo se hace rotar 90 grados, puede detectarse un defecto de superficie cóncavo-convexo mediante un procesamiento similar.

Además, tal como se ilustra en la figura 20, cuando las fuentes 2a y 2b de luz están dispuestas de tal manera que las direcciones de irradiación de los haces de luz de iluminación difieren unas de otras en 90 grados, si el defecto de

superficie tiene forma cóncava, el lado cerca de las fuentes de luz se vuelve oscuro y el lado alejado de las fuentes de luz se vuelve brillante, y si el defecto de superficie tiene forma convexa, el lado cerca de las fuentes de luz se vuelve brillante y el lado alejado de las fuentes de luz se vuelve oscuro. Específicamente, si el defecto de superficie tiene forma cóncava, una imagen bidimensional obtenida mediante el haz de luz de iluminación procedente de la fuente 2a de luz es tal como se ilustra en la figura 21(a), y una imagen bidimensional obtenida mediante el haz de luz de iluminación procedente de la fuente 2b de luz es tal como se ilustra en la figura 21(b). Por tanto, la imagen de sustracción tiene un patrón de brillo con un contraste desde la parte inferior izquierda hasta la parte superior derecha, tal como se ilustra en la figura 21(c). Por tanto, si se hace rotar el patrón de brillo 45 grados, mediante un método similar al del patrón de brillo en dirección izquierda-derecha, puede detectarse un defecto de superficie de forma cóncava. Además, dado que pueden obtenerse respectivamente imágenes de sustracción de múltiples patrones mediante el uso de tres o más fuentes de luz, puede mejorarse incluso más la precisión de la detección de defectos de superficie.

Además, en esta realización, aunque se detecta un defecto de superficie cóncavo-convexo para el caso en el que los haces de luz de iluminación se emiten desde las direcciones simétricas alrededor de la línea normal de la parte objetivo de exploración, las direcciones de irradiación de los haces de luz de iluminación no son necesariamente simétricas. Además, el procesamiento de detección de defectos de superficie según esta realización puede aplicarse a líneas de fabricación en general para materiales de acero independientemente de si están en caliente o en frío.

[Ejemplo]

En este ejemplo, el procesamiento de detección de defectos de superficie usando el primer método de cálculo de relación de posición anteriormente descrito se aplicó a una parte objetivo de exploración, en la que se había formado un defecto de picadura y a una parte objetivo de exploración en buen estado, en la que no se había formado un defecto de picadura. En este ejemplo, como cantidades de característica, se calcularon una razón de luminancia, una razón de área y circularidades de una porción brillante y una porción oscura. Las circularidades son valores obtenidos mediante división de áreas de la porción brillante y la porción oscura entre cuadrados con longitudes de sus circunferencias y normalización, y se usan para determinar si las formas de la porción brillante y la porción oscura son próximas a una forma circular o no. Si la causa es la misma entre defectos de superficie, no es probable que las luminancias y áreas sean significativamente diferentes unas de otras en las señales izquierda y derecha, y la precisión de detección de defectos de superficie se mejora evaluando el equilibrio izquierda-derecha mediante el uso de la razón de luminancia y razón de área. Además, dado que se evalúan el sombreado y la sombra, la porción brillante y la porción oscura casi no se vuelven de forma circular, y, dado que puede determinarse que aquellas próximas a una forma circular se deben a una causa diferente, se incluyeron las circularidades en las cantidades de característica. Además, se calcularon las áreas de la porción brillante y la porción oscura y se hizo que sólo pudiera detectarse cualquier defecto de superficie con un área no menor que un valor predeterminado. Los resultados de la detección se ilustran en la figura 22. Tal como se ilustra en la figura 22, según esta realización, se confirmó que un defecto de picadura y una porción en buen estado, en la que no se forma un defecto de picadura, podían distinguirse con precisión uno de otro.

(Tercer ejemplo fuera de la invención reivindicada)

A continuación, haciendo referencia a de la figura 23 a la figura 26, se describirán una configuración y el funcionamiento de un aparato de detección de defectos de superficie según el tercer ejemplo fuera de la invención reivindicada. Dado que la configuración del aparato de detección de defectos de superficie según esta realización es la misma que las configuraciones de los aparatos de detección de defectos de superficie según la primera y segunda realizaciones de aparatos anteriormente descritas que pueden usarse para llevar a cabo el método según la presente invención, a continuación en el presente documento se omitirá la descripción de la configuración, y sólo se describirá el funcionamiento del aparato de detección de defectos de superficie.

Ejecutando un procesamiento de detección de defectos de superficie descrito a continuación, el aparato 1 de detección de defectos de superficie según el tercer ejemplo fuera de la invención reivindicada distingue un defecto de superficie cóncavo-convexo a partir de cascarilla o un patrón no perjudicial en una parte objetivo de exploración. Cascarilla o un patrón no perjudicial significa una porción que tiene una película de superficie o características de superficie con propiedades ópticas diferentes de las de una porción de acero de base con un grosor de aproximadamente varios μm a varias decenas de μm , y es una porción que se convierte en una causa de ruido en el procesamiento de detección de defectos de superficie.

[Procesamiento de detección de defectos de superficie]

El aparato 1 de detección de defectos de superficie según la segunda realización anteriormente descrita detecta un defecto de superficie cóncavo-convexo reconociendo un patrón de brillo de luz reflejada. Sin embargo, dependiendo de la forma o posición de un defecto de superficie, puede que no pueda generarse el patrón de brillo de la luz reflejada. Específicamente, en particular cuando la dirección de vector normal en la superficie de la tubería de acero es ampliamente diferente de la dirección de eje óptico del sensor de zona y la forma del defecto de superficie es alargada tal como se ilustra en la figura 23, una de la porción brillante y la porción oscura queda oculta del campo de

visión y sólo se detecta la otra de la porción brillante y la porción oscura y, por tanto, puede que no pueda generarse el patrón de brillo de la luz reflejada.

Por consiguiente, de manera independiente de la lógica de detección de un defecto de superficie cóncavo-convexo mediante el reconocimiento de un patrón de brillo de luz reflejada, el procesamiento de detección de defectos de superficie tiene una lógica de detección de un defecto alargado mediante reconocimiento de una forma de un defecto de superficie. Un defecto alargado mencionado en el presente documento significa un defecto de superficie que tiene una característica de forma alargada lineal. La figura 24 es un diagrama de flujo que ilustra un flujo de procesamiento de detección para un defecto alargado. En este ejemplo fuera de la invención reivindicada, un defecto de superficie que va a detectarse es un defecto alargado de forma cóncava, pero también puede detectarse un defecto alargado de forma convexa mediante este procesamiento de detección si sólo se detecta la otra de la porción brillante y la porción oscura.

En el procesamiento de detección de defectos de superficie según una de las realizaciones de la presente invención, en primer lugar, después de binarizar una imagen de sustracción entre una porción brillante y una porción oscura con un umbral de luminancia predeterminado y, según sea necesario, ejecutar la conexión y retirada de puntos aislados, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes ejecuta un procesamiento de marcado con imágenes de la porción brillante y la porción oscura (etapas S1a y S1b). A continuación, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes extrae imágenes de una porción brillante y una porción oscura que tienen áreas no menores que un umbral predeterminado, a partir de las imágenes sometidas a procesamiento de marcado de la porción brillante y la porción oscura (etapa S2). Después, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes calcula una cantidad de característica de forma de un defecto de superficie, que se convierte en un índice de elongación, para las imágenes extraídas de la porción brillante y la porción oscura, y detecta, basándose en la cantidad de característica de forma calculada del defecto de superficie, un defecto alargado (etapa S3).

Los ejemplos de cantidades de característica de forma de un defecto de superficie, convirtiéndose las cantidades de característica de forma en índices de elongación, incluyen una razón de eje mayor-eje menor de una elipse, un diámetro de Feret máximo, una circularidad y una tasa de llenado de polígonos convexos. Específicamente, si se calcula una razón de eje mayor-eje menor como cantidad de característica de forma, tal como se ilustra en la figura 25(a), en primer lugar, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes ajusta una elipse R a una imagen de una porción brillante o porción oscura. Los métodos de ajuste de una elipse a una imagen incluyen el método de los mínimos cuadrados, el método de la segunda derivada del momento y similares, pero, teniendo en cuenta el tiempo de cálculo, el método de la segunda derivada del momento es más útil. El dispositivo 5 de procesamiento de imágenes calcula las longitudes de un eje mayor L1 y un eje menor L2 de la elipse ajustada R y obtiene una razón entre el eje mayor L1 y el eje menor L2 calculados como cantidad de característica de forma.

Un diámetro de Feret es, tal como se ilustra en la figura 25(b), una longitud L3 de un mapa obtenido cuando se proyecta de manera ortográfica en una dimensión una imagen de una porción brillante o porción oscura. Si se calcula un diámetro de Feret máximo como cantidad de característica de forma, en primer lugar, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes calcula, como diámetro de Feret máximo, el valor máximo de la longitud de la proyección ortográfica mientras se hace rotar la imagen de la porción brillante o porción oscura 180 grados. Después, el dispositivo 5 de procesamiento de imágenes halla, como cantidad de característica de forma, una razón entre un diámetro de Feret en una dirección ortogonal a un sitio, para el que se ha calculado el diámetro de Feret máximo, y el diámetro de Feret máximo.

Además, tal como se ilustra en la figura 25(c), una circularidad significa un valor normalizado de tal manera que cuanto más próxima es la forma de la porción brillante o porción oscura a un círculo, más próximo a 1 se vuelve un valor obtenido dividiendo un área de la porción brillante o porción oscura entre un cuadrado con una longitud de una circunferencia de la porción brillante o porción oscura. Además, una tasa de llenado de polígonos convexos significa una tasa de área de una porción brillante o porción oscura con respecto a un área de un polígono que circunscribe la porción brillante o porción oscura, y cuanto más lineal es la porción brillante o porción oscura, más próximo a 1 se vuelve el valor de la misma. Por tanto, si la circularidad de la porción brillante o porción oscura es baja y la tasa de llenado de polígonos convexos es por el contrario alta, puede determinarse que la forma de esa porción brillante o porción oscura es una forma alargada.

Cuando se detecta un defecto alargado, considerando no sólo una cantidad de característica de forma del defecto de superficie, sino también una dirección del defecto de superficie, tal como una dirección vertical, una dirección horizontal o una dirección diagonal, puede mejorarse la precisión de detección para el defecto alargado. Por ejemplo, puede comprobarse una dirección de un defecto de superficie hallando: una dirección en la que está orientado el eje mayor si se calcula la razón de eje mayor-eje menor como cantidad de característica de forma de un defecto de superficie; y un ángulo de rotación de la imagen de la porción brillante o porción oscura tras obtener el diámetro de Feret máximo si se calcula el diámetro de Feret máximo como cantidad de característica de forma del defecto de superficie. Además, aunque se omitirán detalles de lo mismo, sometiendo la imagen a un filtro lineal que enfatiza una dirección específica, también puede comprobarse una dirección de un defecto de superficie.

Además, en esta realización, las fuentes de luz están dispuestas con simetría de izquierda-derecha alrededor del

vector normal de la tubería de acero, pero, aunque las posiciones de disposición de las fuentes de luz no tengan simetría de izquierda-derecha alrededor del vector normal de la tubería de acero, y no tengan simetría de arriba-abajo o no sean simétricas tal como se ilustra en la figura 20, por ejemplo, puede detectarse un defecto alargado mediante un procesamiento de detección similar. Además, aunque la cascarilla o un patrón no perjudicial es plano y, por tanto, aunque la dirección incidente del haz de luz de iluminación cambie, la cascarilla o el patrón no perjudicial tiene el mismo aspecto; cuando el haz de luz incidente del haz de luz de iluminación cambia, un defecto alargado tiene el mismo aspecto y, por tanto, puede detectarse el defecto alargado mediante la lógica anteriormente descrita. Además, dado que pueden obtenerse respectivamente imágenes de sustracción de múltiples patrones mediante el uso de tres o más fuentes de luz, puede mejorarse adicionalmente la precisión de detección para un defecto alargado.

Tal como se aclaró a partir de la descripción anterior, en el procesamiento de detección de defectos de superficie según una de las realizaciones de la presente invención, se irradia la misma parte objetivo de exploración con los haces de luz de iluminación L aproximadamente al mismo ángulo de incidencia a partir de diferentes direcciones mediante el uso de las dos fuentes 2a y 2b de luz distinguibles, se obtienen las imágenes mediante los haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos L, se extraen la porción brillante y la porción oscura de la imagen obtenida mediante ejecución de procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas, se calcula la cantidad de característica de forma que pasa a ser un índice de elongación de la porción brillante y la porción oscura extraídas y se determina la presencia o ausencia de un defecto alargado basándose en la cantidad de característica de forma calculada y, por tanto, puede distinguirse con precisión el defecto alargado a partir de cascarilla o un patrón no perjudicial.

[Ejemplo]

En este ejemplo, se aplicó el procesamiento de detección de defectos de superficie de la presente invención a una parte objetivo de exploración, en la que se había formado un defecto por exceso, y a una parte objetivo de exploración en buen estado, en la que no se había formado un defecto por exceso. Un defecto por exceso es un defecto de superficie caracterizado porque el defecto de superficie tiene una forma alargada lineal, y está dirigido de manera oblicua hacia arriba y hacia la derecha con respecto a la dirección de laminación. La presencia o ausencia de un defecto por exceso se determinó calculando una razón de eje mayor-eje menor y un ángulo de eje mayor como cantidades de característica de forma de un defecto de superficie y comparando la razón de eje mayor-eje menor y el ángulo de eje mayor calculados con umbrales predeterminados. Los resultados de la determinación se ilustran en la figura 26. Tal como se ilustra en la figura 26, según el procesamiento de detección de defectos de superficie de esta realización, se confirmó que un defecto por exceso y una porción en buen estado, en la que no se forma un defecto por exceso, podían distinguirse con precisión uno de otro.

Anteriormente se han descrito las realizaciones, a las que se ha aplicado la invención realizada por los inventores, pero la presente invención no se limita por la descripción y los dibujos que forman parte de la divulgación de la presente invención mediante estas realizaciones. Es decir, cualquier otra realización, ejemplo de funcionamiento, técnica de funcionamiento y similares implementados por los expertos en la técnica o similares basándose en las realizaciones están todos ellos incluidos en el alcance de la presente invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

Aplicabilidad industrial

Según la presente invención, pueden proporcionarse un método de detección de defectos de superficie y un aparato de detección de defectos de superficie, que permiten distinguir con precisión un defecto de superficie a partir de cascarilla o un patrón no perjudicial.

Lista de signos de referencia

- 1 APARATO DE DETECCIÓN DE DEFECTOS DE SUPERFICIE
- 2a, 2b FUENTE DE LUZ
- 3 GENERADOR DE FUNCIONES
- 4a, 4b SENSOR DE ZONA
- 5 DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
- 6 MONITOR
- L HAZ DE LUZ DE ILUMINACIÓN
- P TUBERÍA DE ACERO

REIVINDICACIONES

1. Método de detección de defectos de superficie de detectar ópticamente un defecto de superficie de un material de acero, comprendiendo el método de detección de defectos de superficie:
una etapa de irradiación de irradiar una parte objetivo de exploración con haces de luz de iluminación a partir de diferentes direcciones usando dos o más fuentes (2a, 2b) de luz distinguibles; y
una etapa de detección de obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos y detectar un defecto de superficie en la parte objetivo de exploración ejecutando un procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas,
en el que la etapa de detección incluye una primera etapa de determinación de extraer una porción brillante y una porción oscura de una imagen de sustracción obtenida mediante la ejecución de procesamiento de sustracción entre las imágenes obtenidas, y determinar la presencia o ausencia de un defecto de superficie cóncavo-convexo a partir de una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura extraídas y las direcciones de irradiación de los haces de luz de iluminación,
en el que la primera etapa de determinación incluye:
una etapa de ejecutar un procesamiento de expansión con respecto a imágenes de la porción brillante y la porción oscura, y calcular una relación de posición entre la porción brillante y la porción oscura mediante extracción de una porción de superposición entre las imágenes de la porción brillante y la porción oscura que se han sometido al procesamiento de expansión.
2. Método de detección de defectos de superficie según la reivindicación 1, en el que la etapa de irradiación incluye una etapa de realizar la irradiación con los haces de luz de iluminación haciendo que dos o más fuentes (2a, 2b) de luz de destellos emitan repetidamente luz de tal manera que los momentos de emisión de luz de las mismas no se superponen entre sí.
3. Método de detección de defectos de superficie según la reivindicación 1, en el que
la etapa de irradiación incluye una etapa de emitir simultáneamente haces de luz de iluminación de dos o más fuentes (2a, 2b) de luz que tienen regiones de longitud de onda que no se superponen entre sí, y
la etapa de detección incluye una etapa de obtener imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos separando, mediante el uso de filtros que transmiten haces de luz que tienen longitudes de onda que son las mismas que las longitudes de onda de los haces de luz de iluminación, los haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos que se han mezclado entre sí.
4. Método de detección de defectos de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de detección incluye una etapa de ajustar, usando cualquiera de un semiespejo, un divisor de haz y un prisma, ejes ópticos de múltiples dispositivos de obtención de imágenes, que obtienen imágenes mediante haces de luz reflejados de los haces de luz de iluminación respectivos, para que sean coaxiales entre sí.
5. Método de detección de defectos de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
en el que una primera longitud de expansión de la imagen de la porción brillante sometida al procesamiento de expansión y una segunda longitud de expansión de la imagen de la porción oscura sometida al procesamiento de expansión dependen del tamaño del defecto de superficie que se desea detectar.
6. Método de detección de defectos de superficie según la reivindicación 5,
en el que la primera longitud de expansión y la segunda longitud de expansión pueden ser de la misma longitud o de una longitud diferente una de otra.

FIG.1

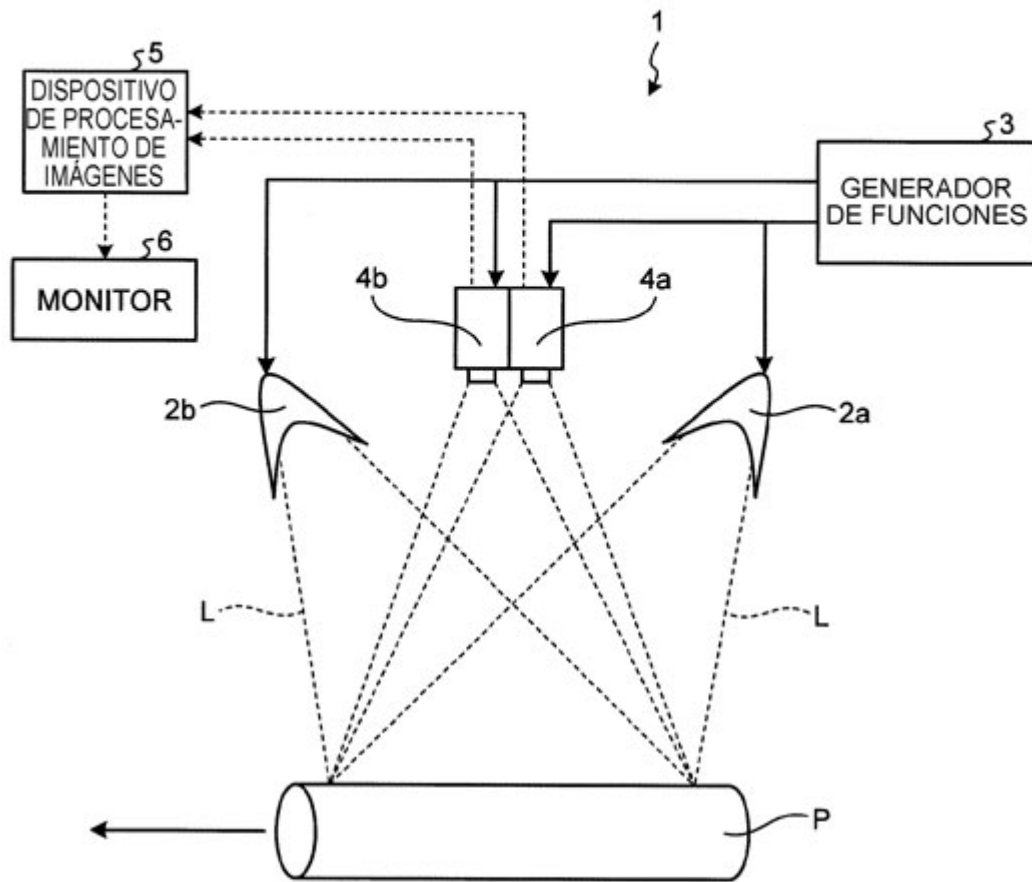


FIG.2

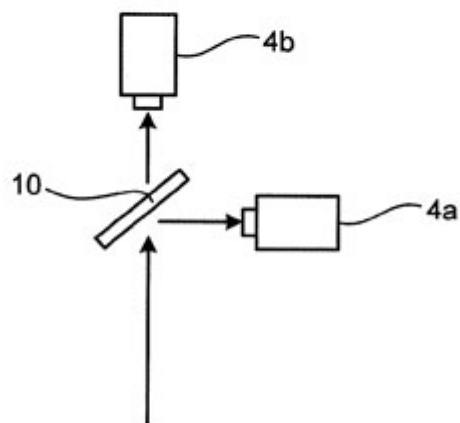


FIG.3

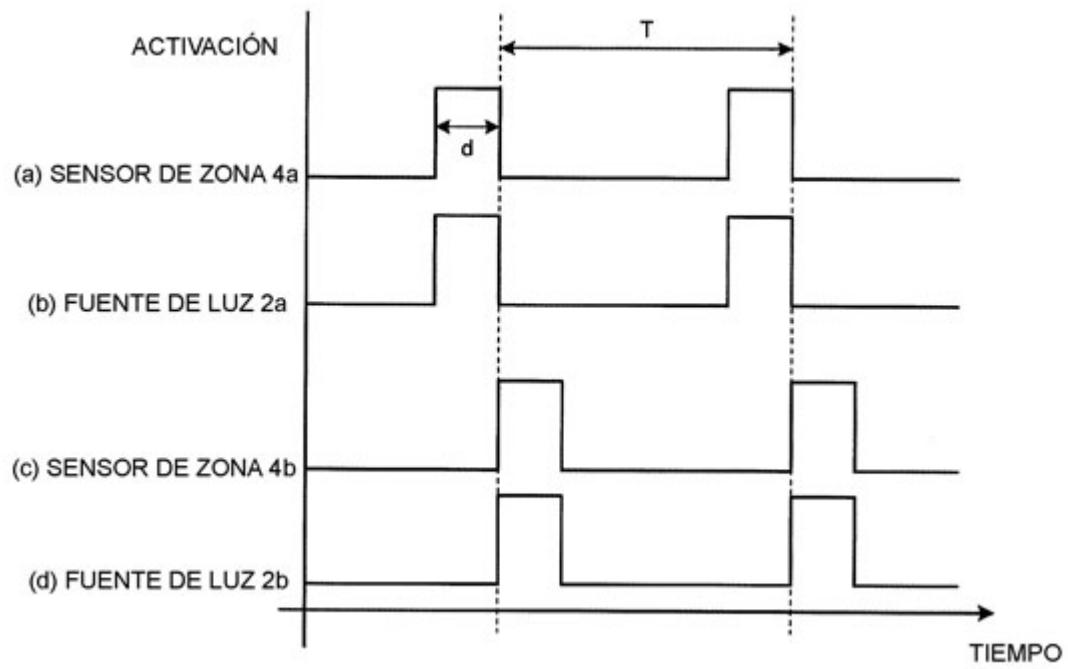


FIG.4

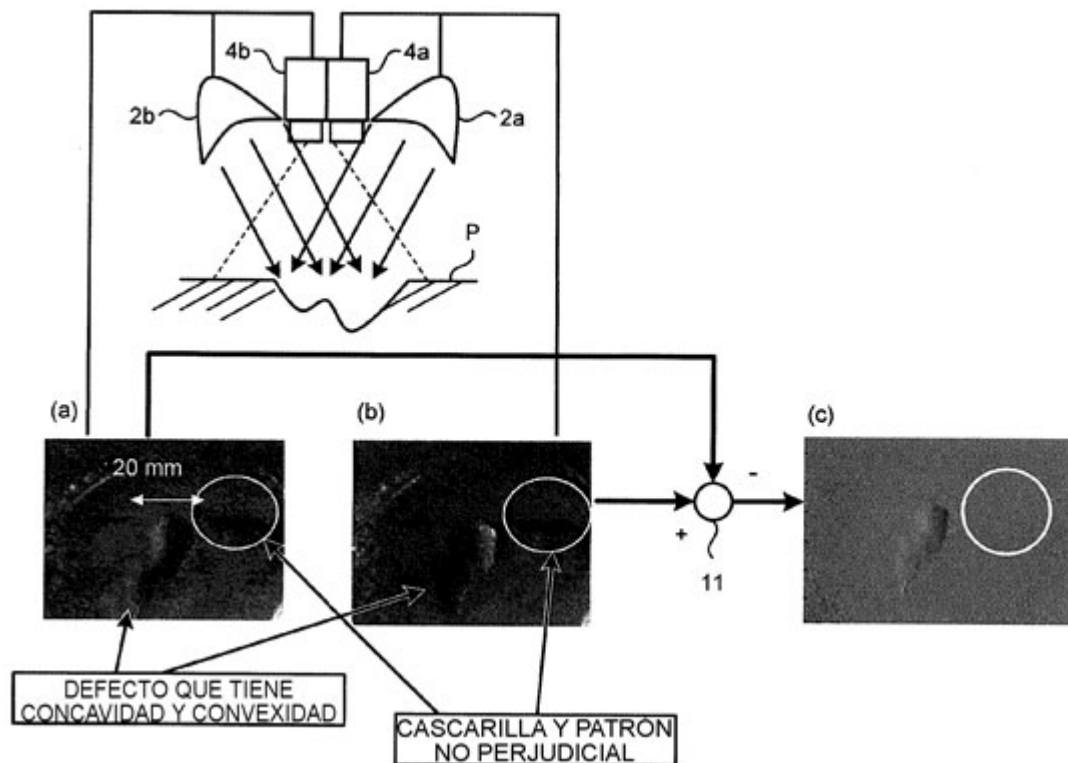


FIG.5

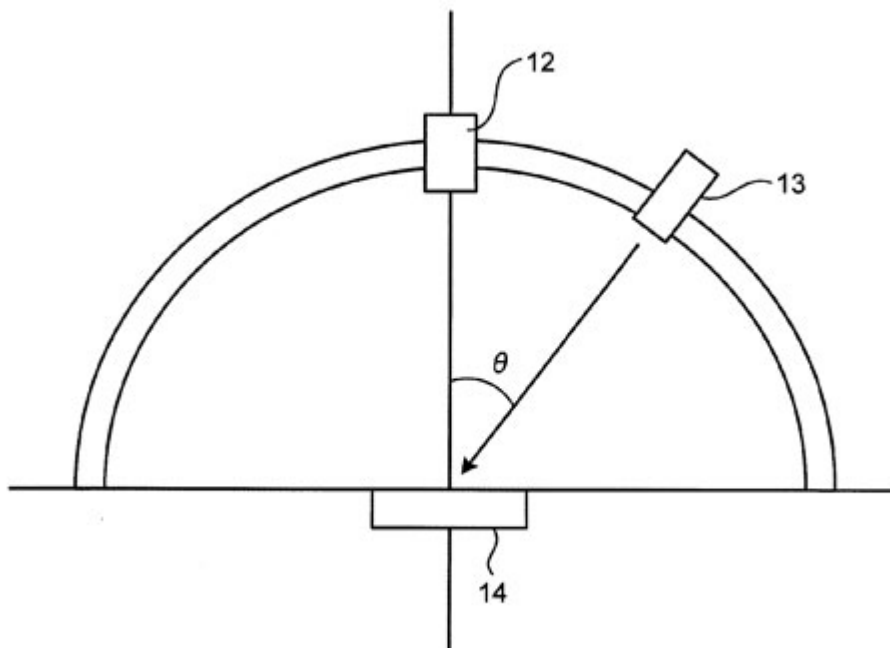


FIG.6

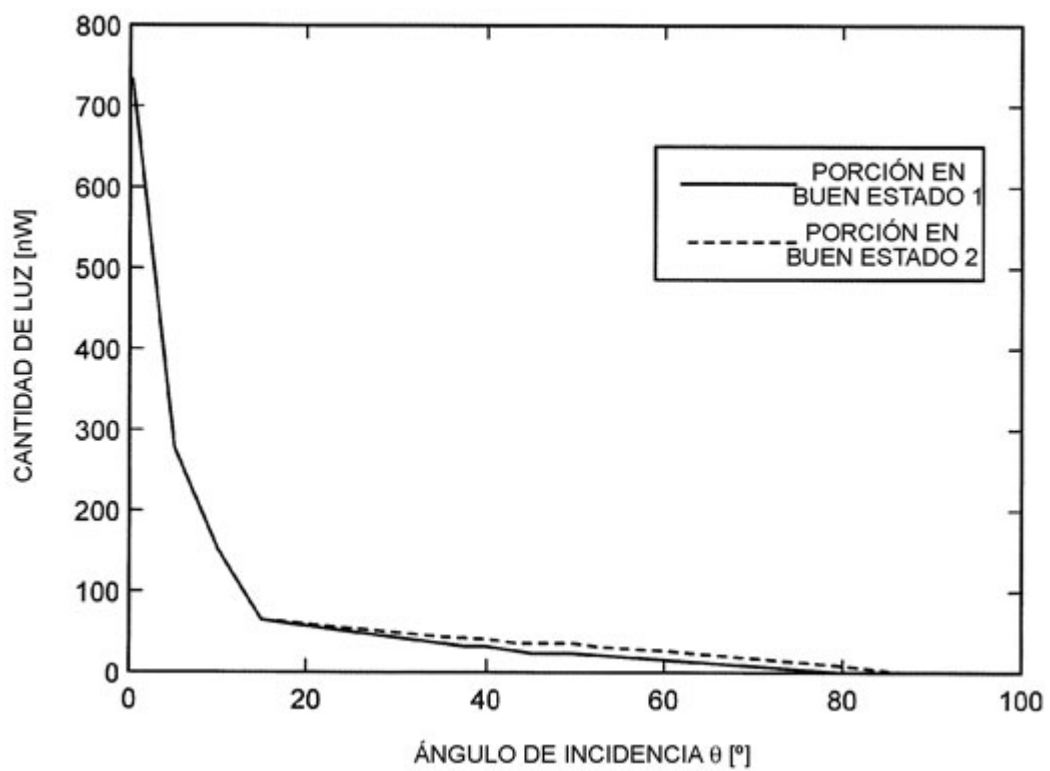


FIG.7

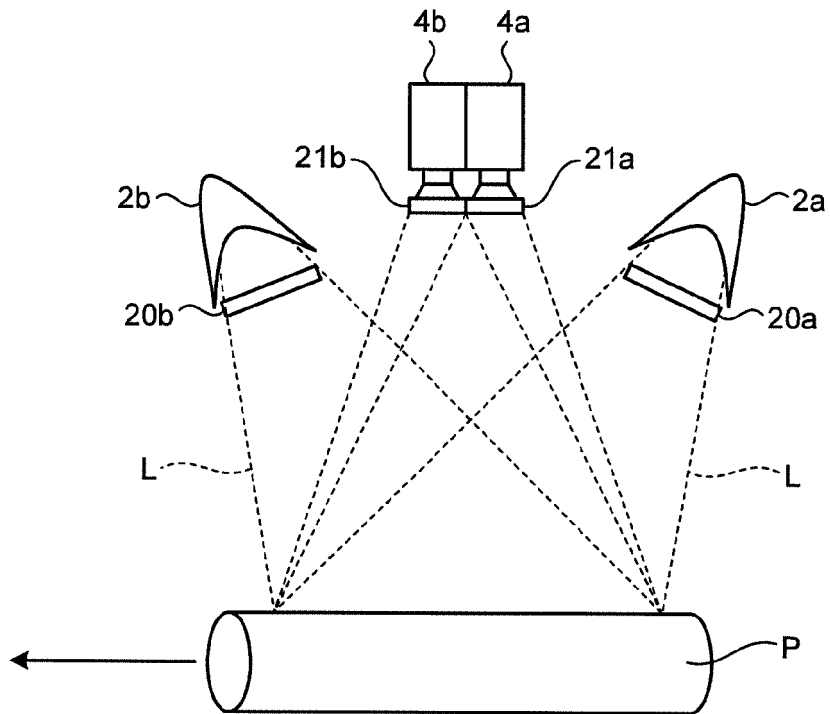


FIG.8

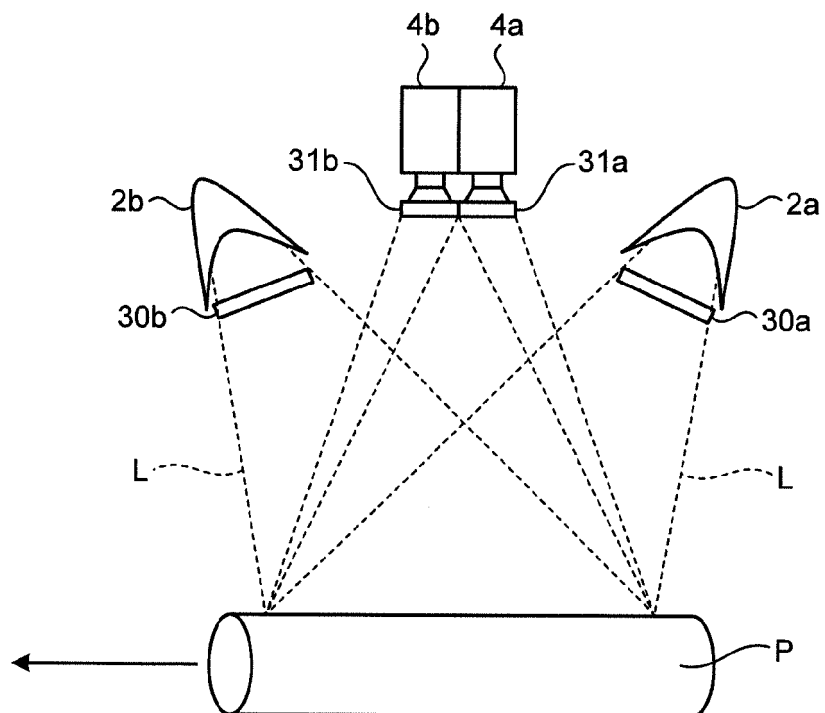


FIG.9

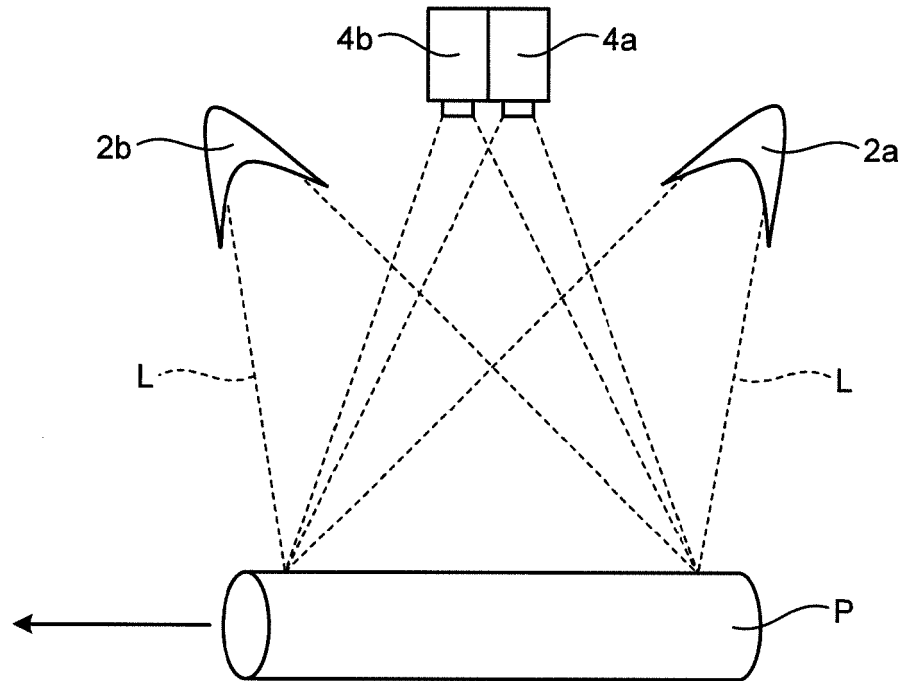


FIG.10

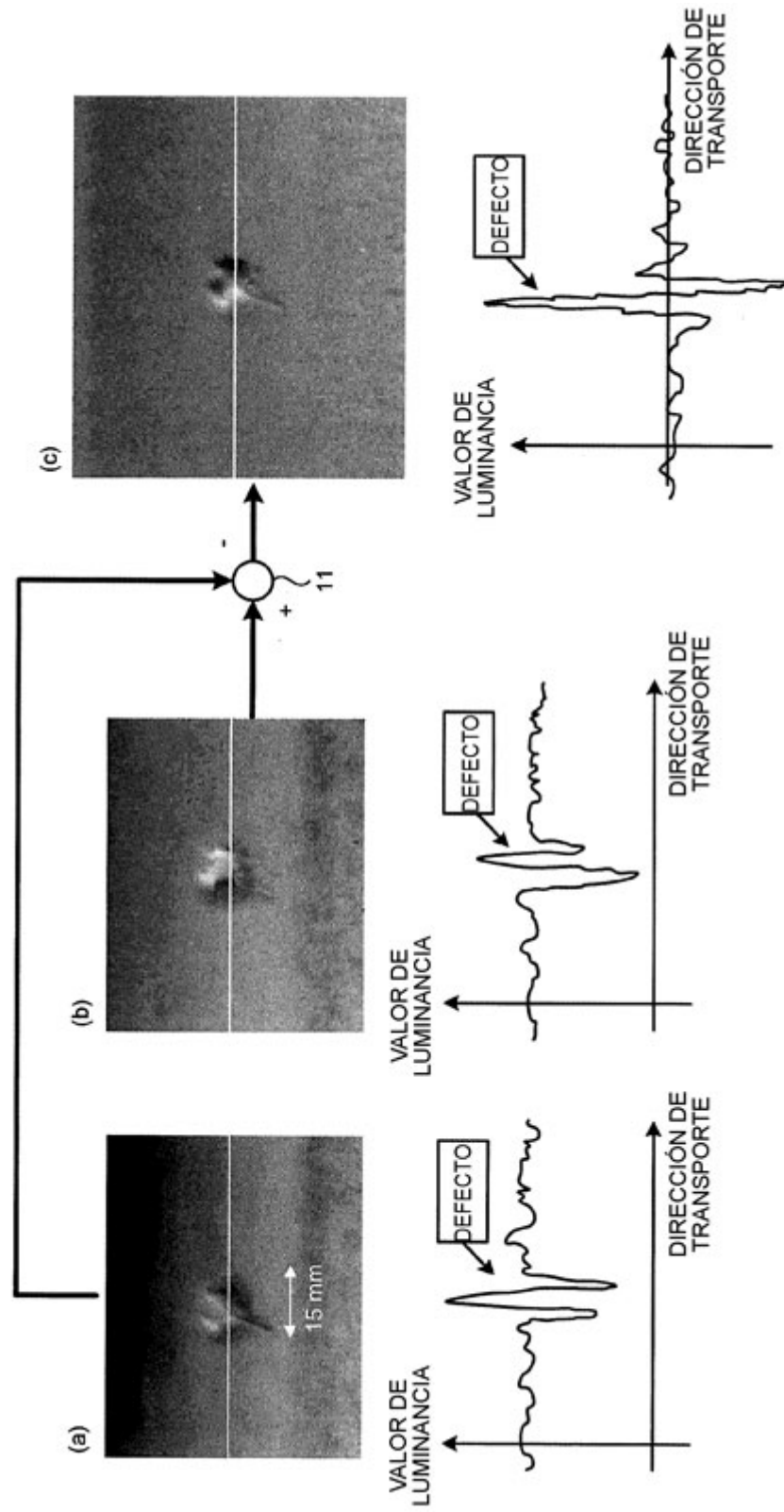


FIG.11

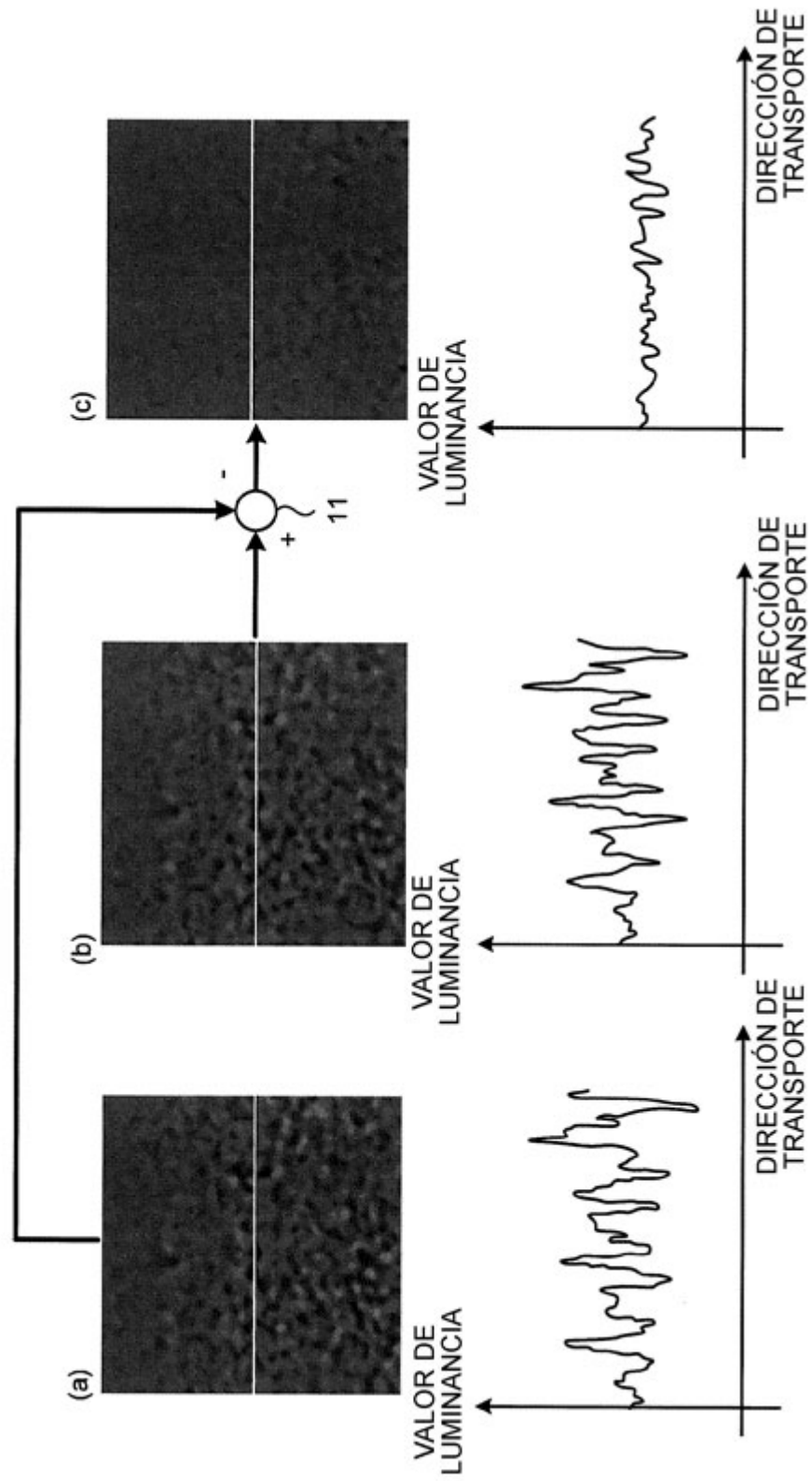


FIG.12

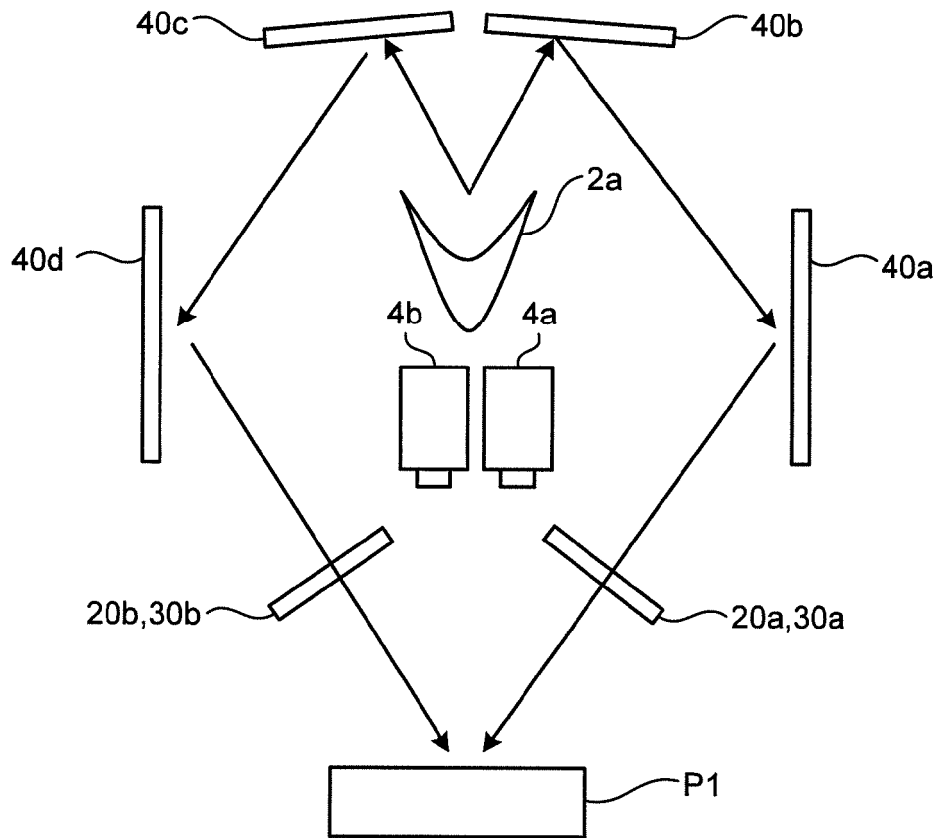


FIG.13

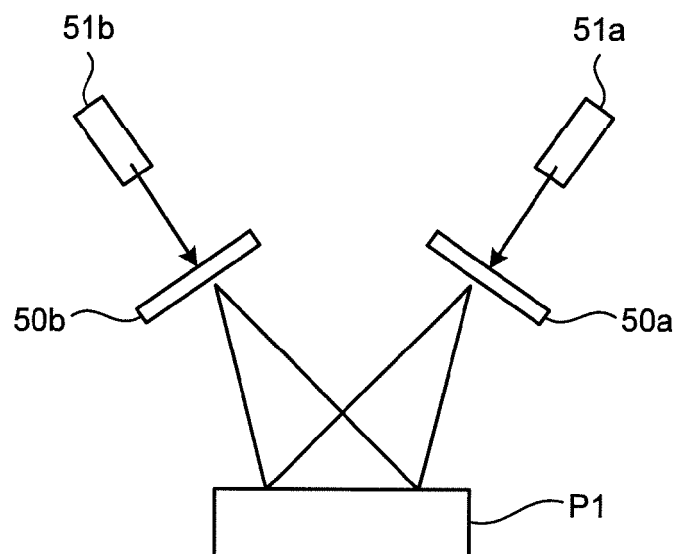
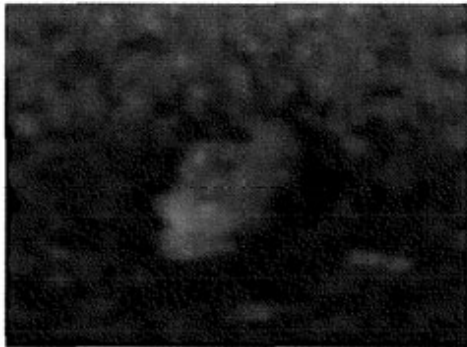
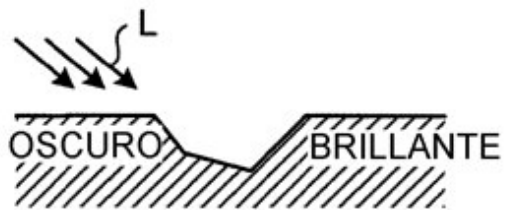


FIG.14

(a)
FORMA CÓNCAVA



(b)
FORMA CONVEXA

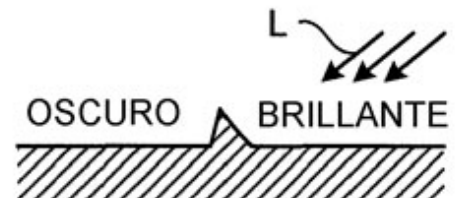
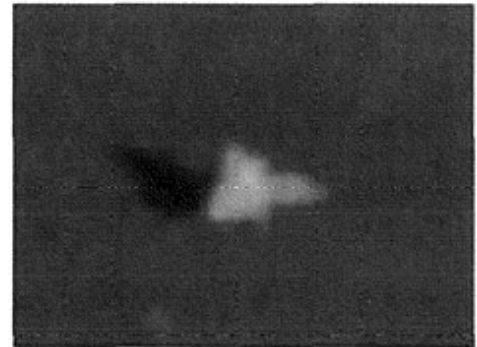
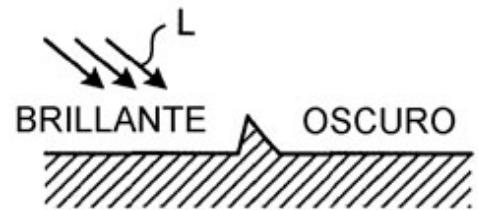
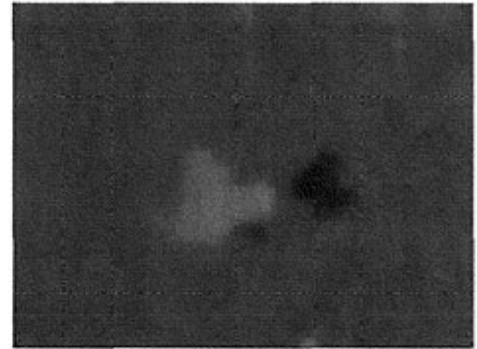


FIG.15

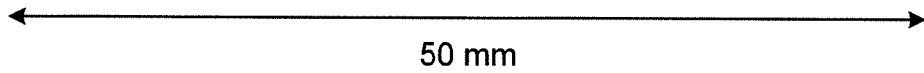


FIG.16

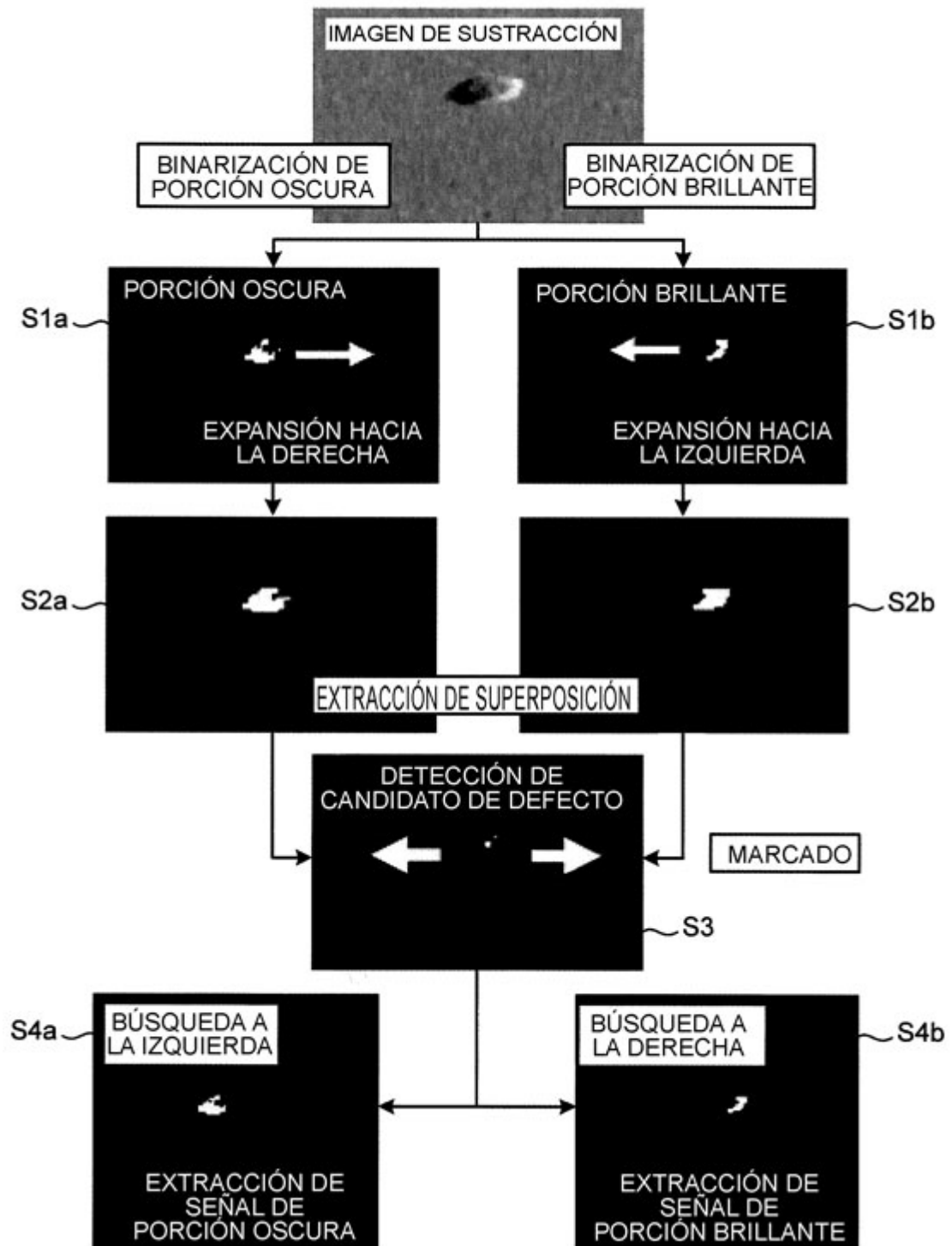
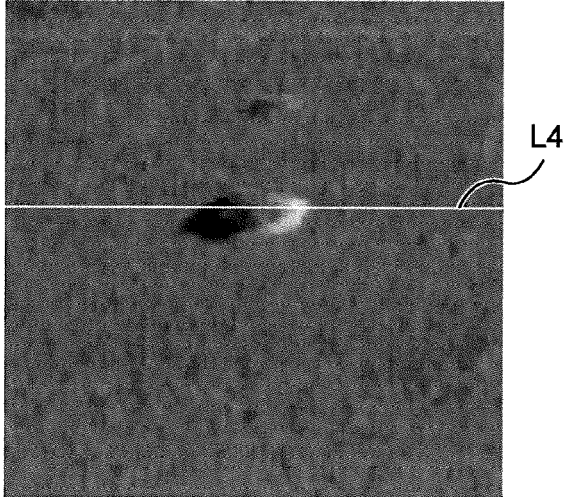


FIG.17

(a)

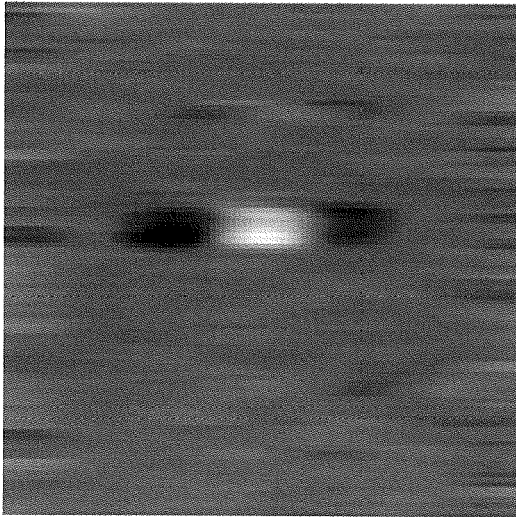


(b)



FIG.18

(a)



(b)

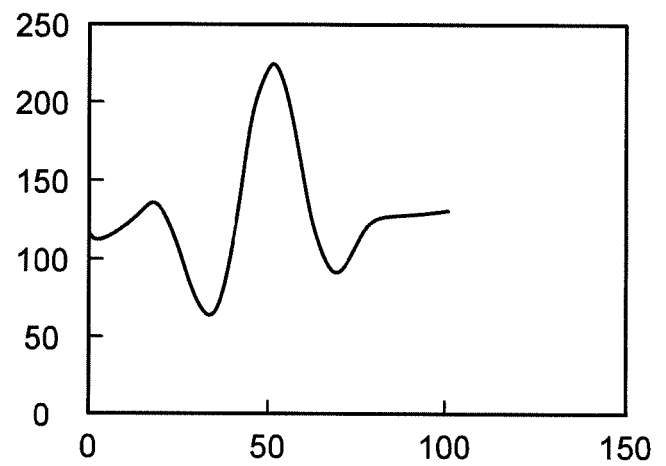
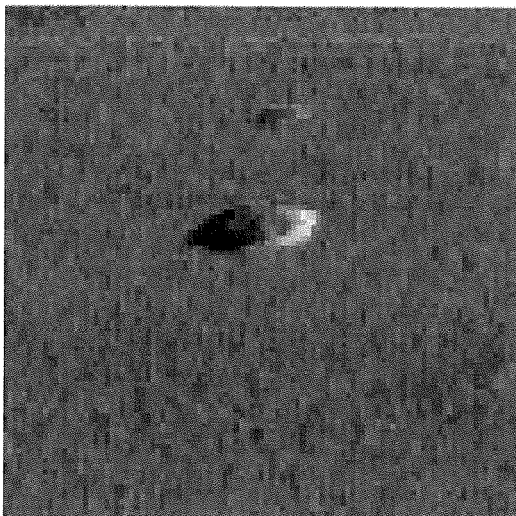


FIG.19

(a)



(b)

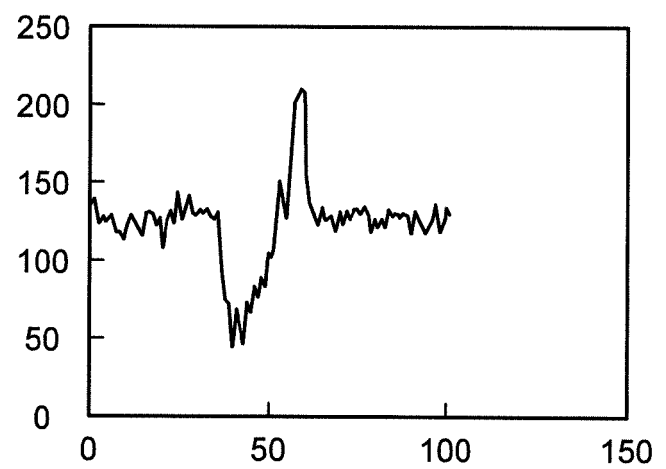


FIG.20

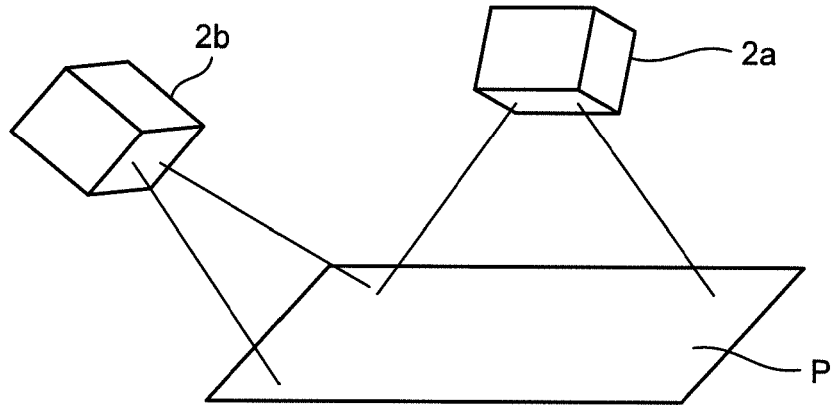


FIG.21

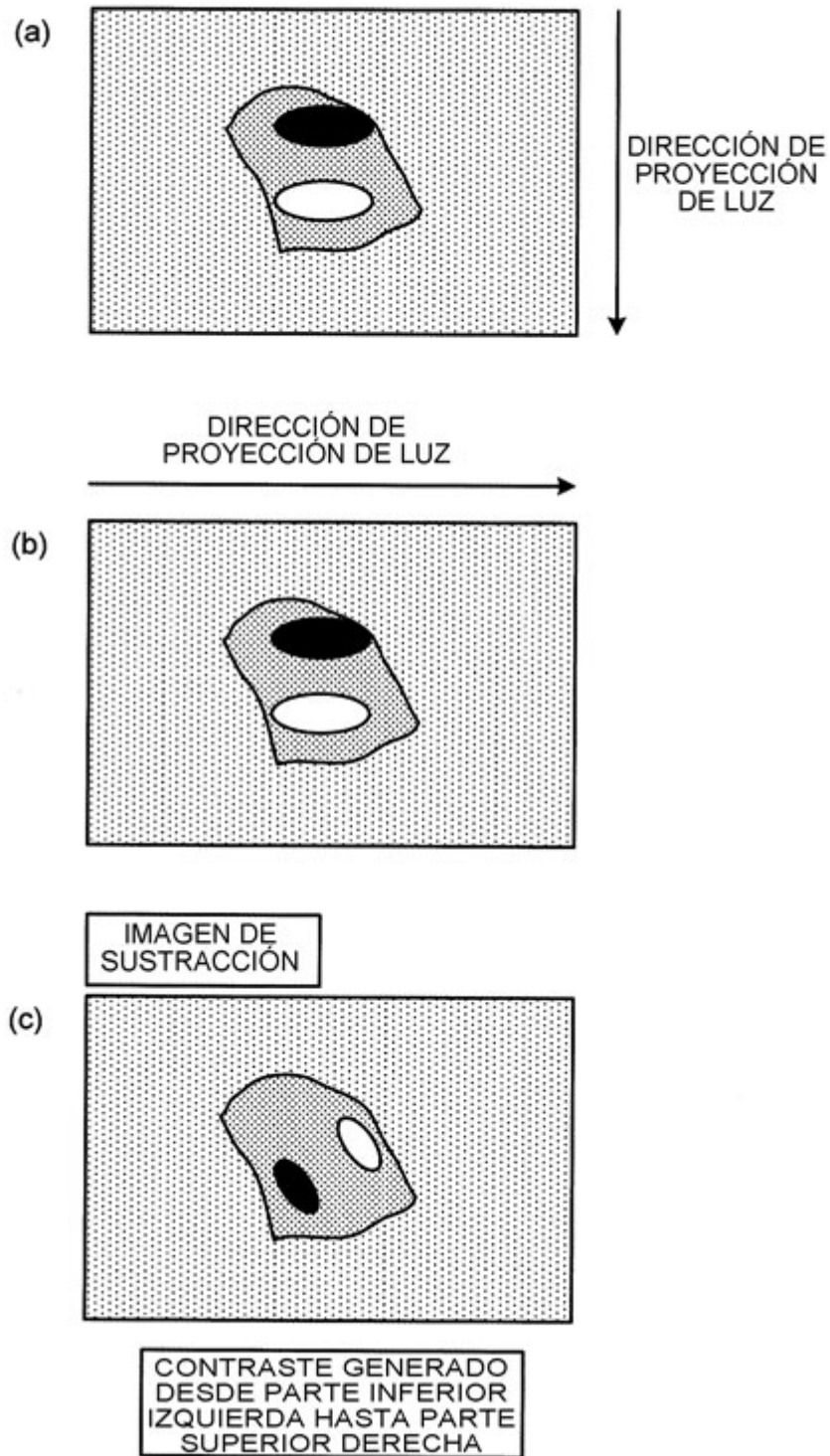


FIG.22

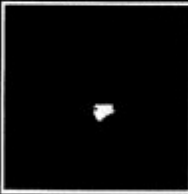
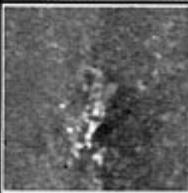
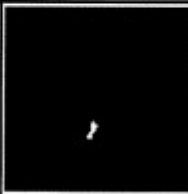
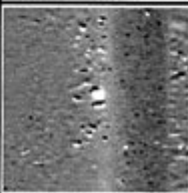
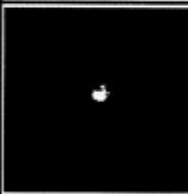
IMAGEN DE SUSTRACCIÓN	IMAGEN DE PORCIÓN BRILLANTE	IMAGEN DE PORCIÓN OSCURA	RAZÓN DE ÁREA	RAZÓN DE INTENSIDAD DE SEÑAL	CIRCULARIDAD DE PORCIÓN BRILLANTE	CIRCULARIDAD DE PORCIÓN OSCURA	RESULTADO DE DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE CARACTERÍSTICA	DETERMINACIÓN DE COINCIDENCIA CON PRODUCTO REAL
			0.88	0.79	0.68	0.755	DEFECTO	DEFECTO
			0.82	0.72	0.74	0.36	DEFECTO	DEFECTO
			0.54	0.62	0.67	0.40	PORCIÓN EN BUEN ESTADO	PORCIÓN EN BUEN ESTADO
			0.12	0.76	0.57	0.81	PORCIÓN EN BUEN ESTADO	PORCIÓN EN BUEN ESTADO

FIG.23

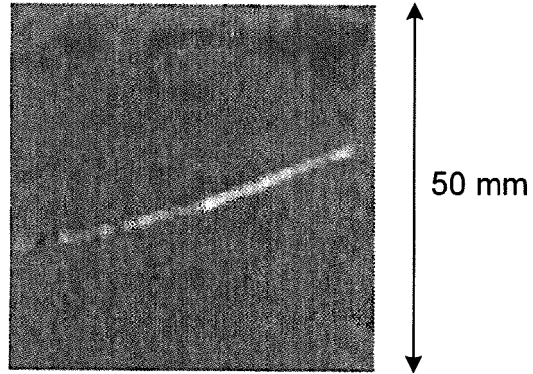


FIG.24

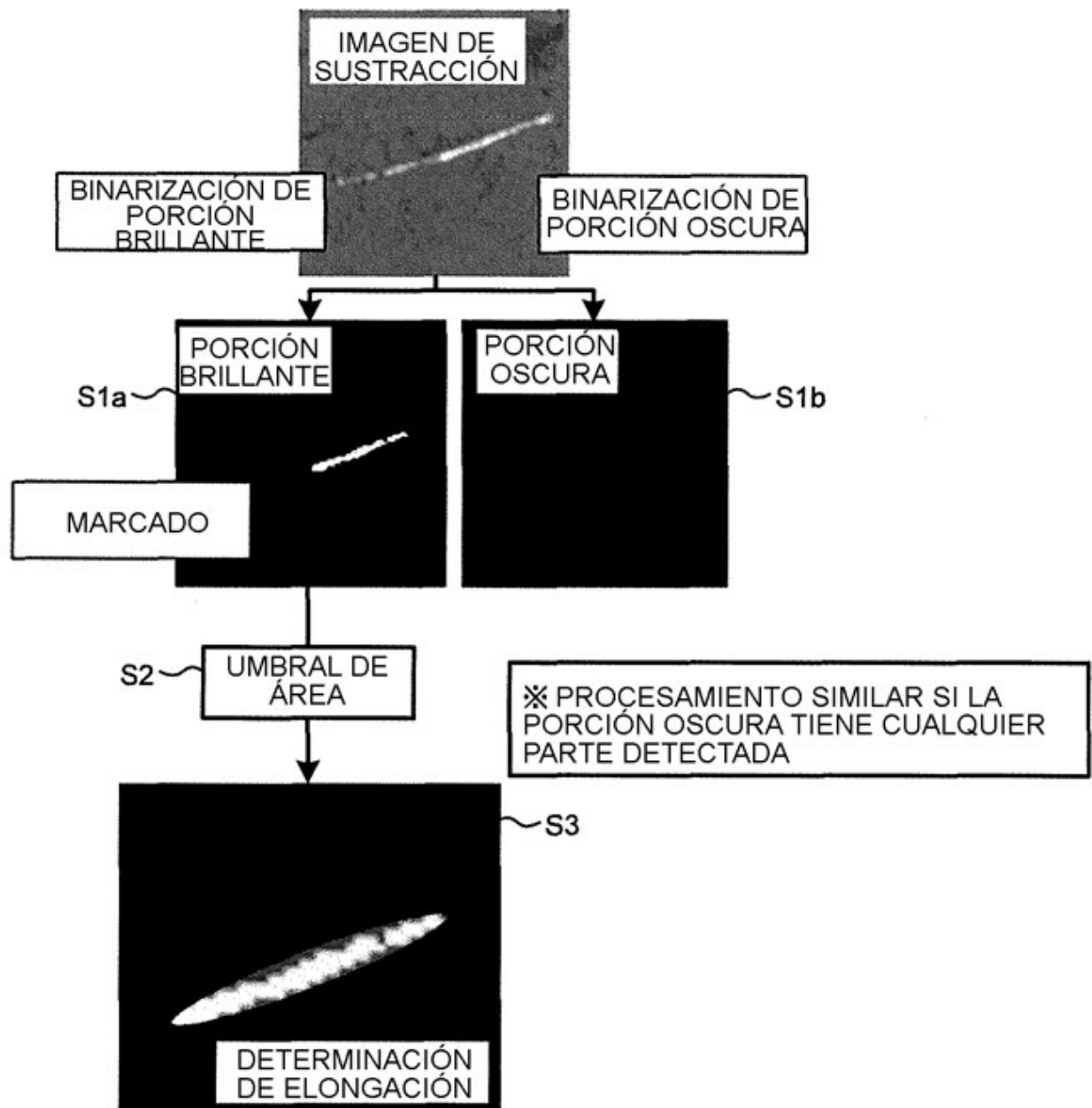


FIG.25

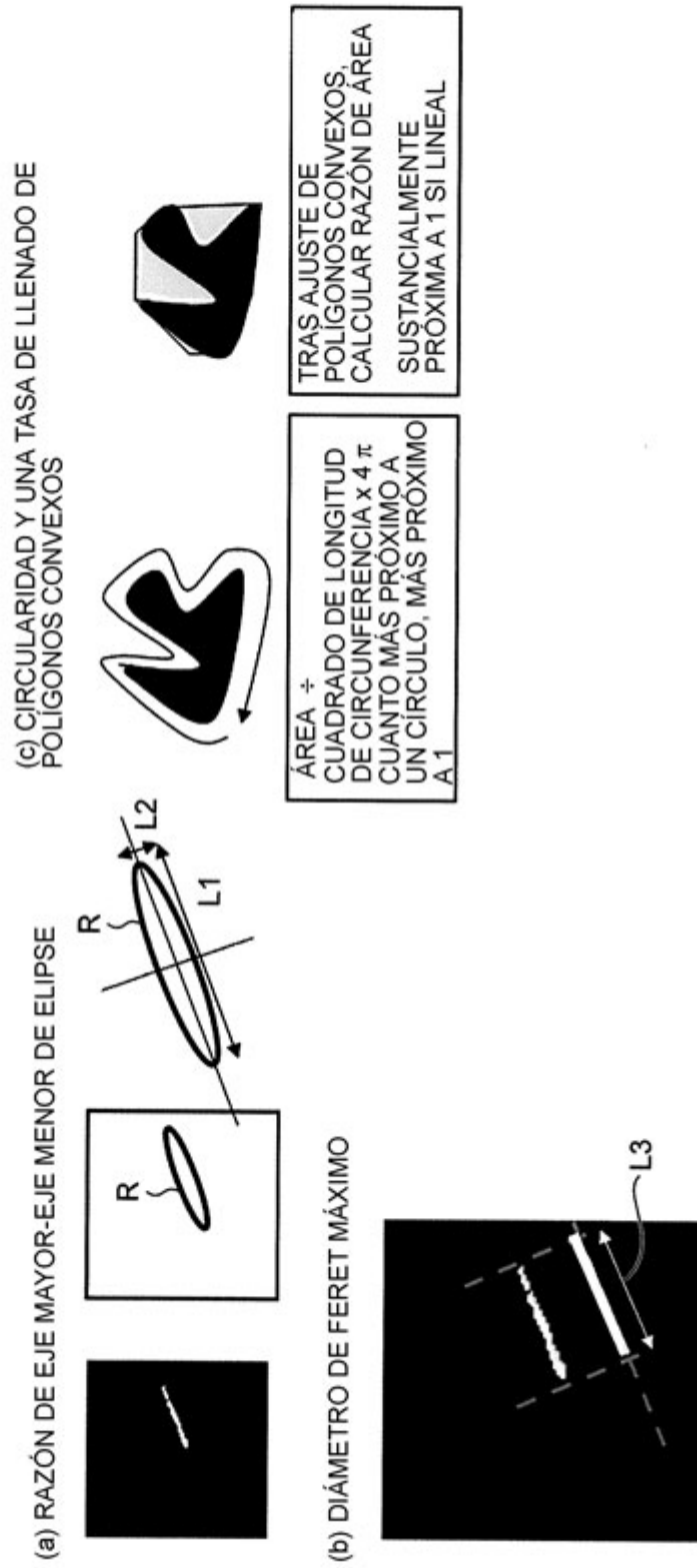
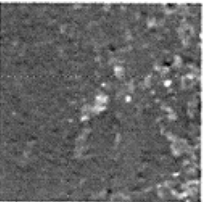
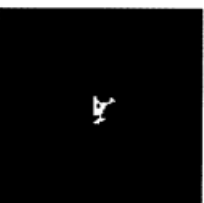
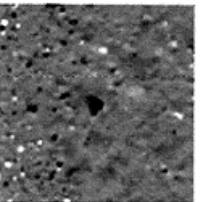


FIG.26

IMAGEN DE SUSTRACCIÓN	IMAGEN DE PORCIÓN BRILLANTE / PORCIÓN OSCURA	RAZÓN DE EJE MAYOR - EJE CORTO	ÁNGULO DE EJE MAYOR [grados]	RESULTADO DE DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE CARACTERÍSTICA	DETERMINACIÓN DE COINCIDENCIA CON PRODUCTO REAL
		0.07	54	DEFECTO	DEFECTO
		0.08	66	DEFECTO	DEFECTO
		0.59	-33	PORCIÓN EN BUEN ESTADO	PORCIÓN EN BUEN ESTADO
		0.82	12	PORCIÓN EN BUEN ESTADO	PORCIÓN EN BUEN ESTADO